

(11)

# 一种基于分形模型的新特征及其在自动目标识别中的应用\*

赵亦工 朱红

(西安电子科技大学技术物理系, 陕西, 西安 710071)

TN911.7

**A 摘要** 基于分形模型的自相似性, 提出一种识别自然背景中人造目标图像特征的新方法, 解释了该特征的含义, 给出了计算方法, 并利用实验数据将其与分维数特征和分形模型拟合误差特征进行了对比, 说明了该特征在识别自然背景中人造目标时的优越性; 还以实际红外图像的处理结果显示该特征在实际中应用的效果。

**关键词** 分形; 图像特征; 目标检测.

目标识别 图像处理

## 引言

分形模型是一种适合于描述具有复杂和不规则形状研究对象的数学模型. 自从 Mandelbrot<sup>[1]</sup>将抽象的分形概念和现实世界中的许多自然现象联系起来后, 分形的概念和理论已在相当多的科学研究领域得到了应用. 在图像处理方面, 分形理论已被用于自然背景中人造目标的识别研究<sup>[2~4]</sup>.

分形模型在一定的尺度范围内可以很好地与天空、海面 and 地面等自然背景的表面与空间结构相吻合, 因此, 分形模型可以作为自然背景的数学模型; 人造物体的表面和空间结构与分形模型所表达的规律性之间存在固有差异, 所以, 分形模型所描述的对象中不包含人造目标. 由此提出了两种检测人造目标的方法. (1) 基于表面结构的方法: 人造目标具有光滑的表面, 自然背景具有粗糙的表面, 因而可以根据分维数的大小区分人造目标和自然背景<sup>[2]</sup>; (2) 基于空间结构的方法: 自然背景在一定的尺度范围内具有空间结构的自相似性, 人造目标不具有空间结构的自相似性, 因而可以根据分形模型拟合误差的大小区分人造目标和自然背景<sup>[4]</sup>. 实际环境和系统因素的影响会导致人造目标和自然背景图像的分维数特征在数值上出现交叠, 因此依赖分维数特征区分人造目标和自然背景是不可靠的; 另一方面, 虽然分形模型拟合误差特征区分人造目标和自然背景的有效性优于分维数特征, 但在某些环境中也会出现识别错误, 此外还需采取特殊的特征增强处理和图像检测方法, 以便于检测门限的设定和提取目标完整的轮廓.

本文根据分形模型的自相似性表达式, 提出一种识别自然背景中人造目标图像特征的新方法, 并分析和解释了该特征的含义. 通过实际数据计算将其与分维数特征和分形模型拟

\* 国家自然科学基金资助项目, 编号 69102006

本文 1996 年 4 月 9 日收到, 修改稿 1996 年 10 月 3 日收到

合误差特征进行了对比,说明了该特征在识别自然背景中人造目标时的优越性和有效性;通过对实际环境中采集的红外图像的处理,说明该特征在自动目标识别应用中的效果.

## 1 算法原理

对于在实际获得应用的分形,一个很重要的性质是它的自相似性.对于分形曲面,该性质可以表示为:

$$A(rx) = r^{(2-FD)}A(x), \quad (1)$$

式(1)中  $A(x)$  为分形曲面的表面积,  $x$  为度量时使用的面积元尺度,  $r$  为尺度因子 ( $0 \leq r \leq 1$ ),  $FD$  为曲面的分维数. 式(1)的解为

$$A(x) = ax^{(2-FD)}, \quad (2)$$

式(2)中  $a$  是一个常数. 从式(2)可以看出,分形模型具有两个重要的特征:一是研究对象的度量值与度量尺度之间的指数律关系,实际中度量值和度量尺度之间的关系相对于指数律关系的偏离程度称为分形模型拟合误差,它表明实际数据是否具有空间结构的自相似性,能否用分形模型加以描述;二是研究对象的分维数,它描述了曲面的粗糙程度. 这两个特征是相互独立的. 引言中所提到的两种识别自然背景中人造目标的方法,就是建立在这两种特征基础上的.

分析式(2)还有一个与分形模型有关的特征,即式(2)中的比例系数  $a$ . 对于一个光滑曲面,它的分维数  $FD=2$ ,由式(2)可知,系数  $a$  为该曲面的表面积;而对于一个分形曲面,由式(2)可以将比例系数  $a$  表达为

$$a = \frac{A(x_2) - A(x_1)}{x_2^{(2-FD)} - x_1^{(2-FD)}}, \quad (3)$$

式(3)中  $x_1, x_2$  表示不同尺度的度量面积元,  $A(x_1), A(x_2)$  表示对应的曲面表面积. 由此可看出,比例系数  $a$  表示几何度量随度量尺度的变化率特征,我们称之为几何度量空间变化率特征. 对于一个给定的理想分形曲面,该系数为一常数,但如果在分形曲面中嵌入一个非分形的对象(例如:自然背景图像中的人造目标),则比例系数  $a$  将不再是常数,而是一个随非分形对象出现的空间位置变化的量.

### 1.1 几何度量空间变化率特征的计算

采用“毯”覆盖算法<sup>[3-4]</sup>计算图像局部区域的几何度量空间变化率特征. 待处理的图像  $g(i, j)$  可以视为三维空间的曲面,其高度等于该点的图像灰度值. 首先采用形态数学中的膨胀、腐蚀运算对原始图像进行处理,获得不同尺度  $x=1, 2, \dots, M$  条件下覆盖原始图像的上表面  $U(i, j; x)$  和下表面  $L(i, j; x)$ , 则原始图像  $g(i, j)$  在  $(i, j)$  处不同尺度的局部表面积  $A(i, j; x)$  可由下式求得

$$A(i, j; x) = \sum_{k,m} [U(k, m; x) - L(k, m; x)] / 2x, \quad (k, m) \in \Sigma, \\ x = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

式(4)中  $\Sigma$  为中心在  $(i, j)$  处的矩形窗. 对于一个分形表面,根据式(2)有

$$\log[A(x)] = (2 - FD)\log(x) + \log(a), \quad (5)$$

式(5)表示在  $\log[A(i, j; x)] - \log(x)$  坐标系中的一条直线, 该直线在纵坐标轴上的截距为  $\log(a)$ . 因此, 只要用在不同尺度下求得的表面积  $A(i, j; x), x=1, 2, \dots, M$ , 在  $\log[A(i, j; x)] - \log(x)$  坐标系中做直线的最小二乘拟合, 根据拟合直线在纵坐标轴上的截距, 即可求得几何度量空间变化率特征  $a$ . 需要指出的是: 由于特征计算的过程局限于以  $(i, j)$  为中心的矩形窗  $\Sigma$  内, 所以我们获得的实际上是局部几何度量空间变化率特征.

### 1.2 几何度量空间变化率特征的表现规律

(1) 自然背景的图像可以用分形模型描述, 但图像各局部区域的分形特征参数是不同的. 由此可以推断, 在图像性质接近的某一局部区域内部, 几何度量空间变化率特征应当是变化不大的, 而在不同图像性质的局部区域之间则是有显著变化的.

(2) 若在自然背景图像的某一局部区域中存在人造目标, 则该局部区域的图像将不符合分形模型, 因而会在几何度量空间变化率特征上产生某种变化. 如果这种变化是由于人造目标的存在所造成的固有的变化, 则可以根据这一固有的变化检测自然背景中的人造目标.

我们将通过实际环境中采集的红外图像数据, 研究几何度量空间变化率特征在图像不同局部区域间的变化情况, 有和无人造目标条件下的变化情况及其取值范围和变化规律. 在图1和图2中分别选择了六个局部区域(见表1中序号1~6)和五个局部区域(见表1中序号7~11), 分别计算它们的局部几何度量空间变化率特征, 并将结果列于表1当中.



图1 地面坦克的红外图像  
(背景为地面和天空)

Fig. 1 Infrared image of a tank with the ground and the sky as the background



图2 空中飞机的红外图像  
(背景为天空和云层)

Fig. 2 Infrared image of a plane with the sky and the cloud as the background

表1 局部几何度量空间变化率特征

Table 1 Spatial variation rate of local geometry measurement

序号	位置	特征值	序号	位置	特征值
1	背景左上	1153	7	背景左上	973
2	背景右上	2129	8	背景右上	931
3	背景左中	3837	9	背景右下	834
4	背景右下	2773	10	背景左下	777
5	背景左下	5136	11	目标	2370
6	目标	9471			

上述计算过程中的参数: 图像尺寸 =  $256 \times 256$ , 矩形窗尺寸 =  $31 \times 31$ , 度量尺度范围  $M=5$ .

根据上面两幅图像的计算结果,可以得出以下几个结论:

(1) 几何度量空间变化率特征的大小与局部区域图像的灰度大小无关,只与区域内部图像的灰度起伏程度有关.例如:图1中左上背景和右上背景虽处于同一天空背景,图像灰度接近,但由于实际图像灰度的起伏不同,因而在特征的数值上存在较大区别;而右上背景和右下背景,尽管它们的图像灰度差别较大,但图像灰度的起伏情况相类似,故特征的数值较为接近.

(2) 当图像的某个局部图像区域的灰度起伏较大,特别是存在灰度的跳变时,几何度量的空间变化率特征的数值较大.例如:图1中左下背景,由于图像的灰度起伏较大,故特征数值较大;而左中背景所对应的图像区域中存在图像灰度的跳变,因而特征的数值很大.

(3) 当局部图像区域中包含有人造目标时,由于图像灰度的起伏变化,特别是这种起伏变化偏离了分形模型规律,导致该图像区域具有非常大的几何度量空间变化率特征.因此,可以根据几何度量空间变化率特征的数值检测自然背景中的人造目标.

(4) 在不同的环境中人造目标和自然背景的几何度量空间变化率特征在数值上存在交叉的可能性,例如:图1中背景所对应的特征值均大于图2中目标所对应的特征值.因此,在根据几何度量空间变化率特征的数值检测自然背景中的人造目标时,不能采用固定门限,应采用与当前背景的特征强度有关的自适应门限.

除上面的两幅图像之外,还对实际海、陆、空环境中提取的大量红外图像进行了处理和分析,得到的结论是相同的.

根据上面所得到的结论,根据几何空间变化率特征自动检测自然背景中人造目标的过程为:首先根据式(4)和式(5)计算原始图像每个象素点处的局部几何度量空间变化率特征,得到一局部几何度量空间变化率特征分布图像,然后再选择适当的自适应门限检测门限,检测出自然背景中的人造目标,再经过剔除虚警和目标分类即可给出最终的目标识别结果.

## 2 实验结果

根据上述基于几何度量空间变化率特征的目标检测技术,处理在实际环境中采集的海、陆、空红外图像数据,获得了大量的实验结果,部分结果如图3~5所示.

实验参数:图像尺寸=256×256;实际应用中,自动目标搜索主要针对远距离10×10以下的小目标,故选滑窗尺寸=11×11;度量尺度范围 $M=5$ .观察实验结果:本文提出的方法可检出的目标一般在3×3至20×20之间,图像中可以存在灰度和形状上能对目标检测产生干扰的自然物体;与文献[4]提出的基于分形模型拟合误差的方法相比,本文基于几何度量空间变化率特征的方法,提取出的目标特征更为明显,且不需要特征增强和特殊的图像检测方法,因此,本方法具有性能高,处理过程简单,实时性强,实现容易等优点.

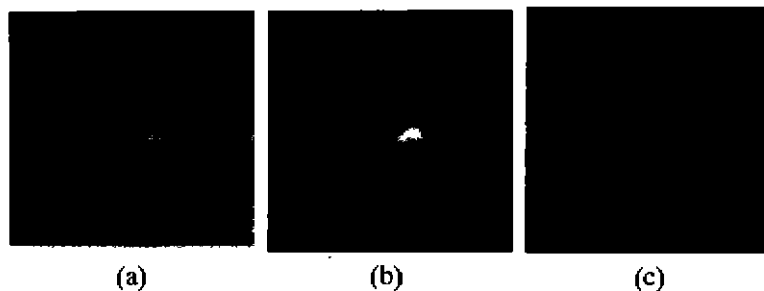


图3 地面坦克特征提取的结果

(a) 原始图像, (b) 几何度量空间变化率特征分布图像, (c) 分形模型拟合误差分布图像

Fig. 3 Features for the tank on the ground (a) original image (b) image of spatial variation rate of local geometry measurement (c) image of fractal model fitting error

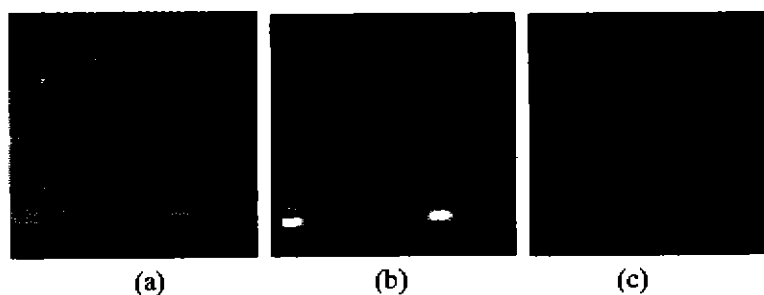


图4 海面军舰特征提取的结果

(a) 原始图像 (b) 几何度量空间变化率特征分布图像 (c) 分形模型拟合误差分布图像

Fig. 4 Features for the ship on the sea: (a) original image (b) image of spatial variation rate of local geometry measurement (c) image of fractal model fitting error.

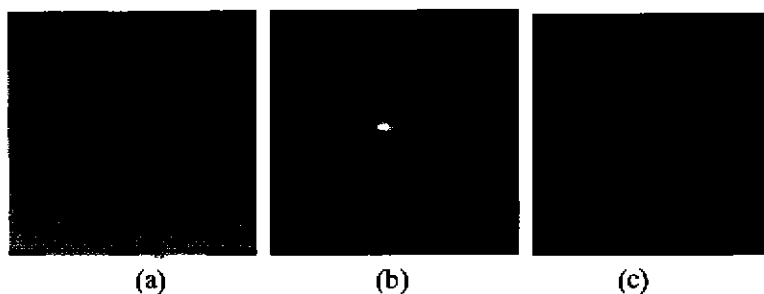


图5 空中飞机特征提取的结果

(a) 原始图像 (b) 几何度量空间变化率特征分布图像 (c) 分形模型拟合误差分布图像

Fig. 5 Features for the plane in the sky: (a) original image (b) image of spatial variation rate of local geometry measurement (c) image of fractal model fitting error.

## 参考文献

- 1 Mandelbrot B B. *The fractal geometry of nature.*, San Francisco, CA, Freeman, 1982.
- 2 Peli T. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1990, 7: 1101~1112
- 3 Stein M C. *Visual Comm. and Image Proc. I*, 1987, SPIE-845: 293~300
- 4 赵亦工, 朱红, 向健勇. *红外与毫米波学报*, 1995, 14: 336~340

## A NEW FEATURE BASED ON FRACTAL MODELS AND ITS APPLICATIONS IN AUTOMATIC TARGET RECOGNITION\*

Zhao Yigong    Zhu Hong

(Department of Technical Physics, Xidian University, Xi'an, Shanxi 710071, China)

**Abstract** A new kind of feature of an image was presented on the basis of the self-similarity property of the fractal model, which could be applied to recognize man-made objects in the natural background. Firstly, the interpretation of the feature was discussed and the procedure of the computation of the feature was presented. Secondly, the feature was compared with the fractal dimension feature and the fractal model fitting error feature based on the experimental data to show its superiority in recognizing man-made objects in the natural background. Finally, some experimental results for practical infrared images were presented to show the effect of the feature in the practical situations.

**Key words** fractals, image feature, target detection.

---

\* The project supported by the National Natural Science Foundation of China