

# 高阶分形特征在目标特征提取中的应用\*

王丽君 杨宜禾 赵亦工 向健勇  
(西安电子科技大学技术物理系, 陕西, 西安, 710071)

TN211  
018

**摘要** 将分形理论用于空中人造目标红外图像的分析, 提取出用于区分目标和干扰物的新的分形特征缝隙特征. 实验证明, 此特征与传统特征相比具有较好的几何不变性, 是一种较可靠的识别特征.

**关键词** 高阶分形特征, 人造目标.

红外图像分析

## 引言

我们在研究分形特性的时候, 常常会发现两个表面或结构完全不同的分形集有着相同或相似的分形维数, 这时仅用分形维数已无法对纹理的描述或分割提供足够多的信息. B. B. Mandelbrot 在提出分形理论之初, 已经注意到分维的非普适一性或非唯一性, 他建议研究缝隙作为分维的一个补充.

⑦

## 1 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:

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

式(1)包含了两个参量, 即前项系数  $k$  和指数项  $(d-D)$ ,  $\epsilon$  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. 例如对于图1所示的康托三分集, 测量它的长度值  $L$  满足  $L(\epsilon) \propto k\epsilon^{-D}$ .

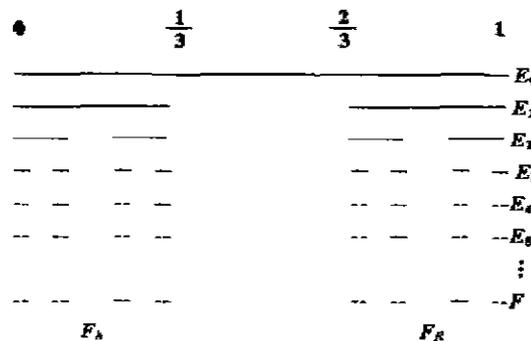


图1 康托三分集  
Fig. 1 Cantor dust

当康托三分集的级次升高时, 缝隙量(即质量变化的快慢)加大, 它的长度值  $L$  减小, 而维数  $D$  不变, 因此  $k$  值减小. 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

\* 国防预研基金资助项目  
本文 1995 年 4 月 11 日收到, 修改稿 1995 年 9 月 11 日收到

映缝隙量的大小. 缝隙量定义式为

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

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(3)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

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

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

定义缝隙量为

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

从式(4)可以看出, 质量分布越均匀,  $\Delta(L)$  值越小; 反之,  $\Delta(L)$  值越大. 对应于纹理图像, 就是纹理越密集,  $\Delta(L)$  越小; 纹理越稀疏,  $\Delta(L)$  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  $\Delta(L)$  会减小, 且  $\Delta(L) \rightarrow 0$ . 当  $L$  较小时, 由  $\Delta(L)$  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.

## 2 红外图像实验

### 2.1 对飞机和干扰弹纹理特性分析

飞机的红外图像反映的是飞机表面的温度分布, 在  $8 \sim 14 \mu\text{m}$ , 飞机自身辐射源主要是蒙皮, 尽管飞机经红外传感器成像后图像灰度呈现一定的非均匀性, 然而飞机毕竟是人造物体, 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, 因此可认为飞机图像纹理基元较大. 对干扰弹来说, 无论对内部还是边缘环带, 由于散状颗粒的存在, 造成干扰弹图像具有较细的纹理信息. 干扰弹内部和环带散状颗粒的分布密度不同, 环带的密度要比内部大. 分别选择一幅特定的飞机图像 A 和一幅特定的干扰弹图像 B, 利用 covering-blanket 法计算其分形维数. 飞机 A 的分形维数  $D = 2.358$ , 干扰弹 B 的分形维数  $D = 2.380$ (都是在尺度为  $1 \sim 10$  时的拟合结果). 分形维数的直方图如图 2 和 3 所示. 图 2 和 3 中横轴  $0 \sim 200$  代表维数  $2 \sim 3$ . 图 4 为用式(4)算出的飞机 A 和干扰弹 B 的缝隙特征曲线, 上面的曲线是飞机 A 的缝隙特性, 下面的曲线是干扰弹 B 的缝隙特性.

从图 2 和 3 看出飞机 A 和干扰弹 B 从分形维数上很难区分,然而它们的缝隙特征却有较大的区别.飞机 A 的缝隙量大于干扰弹 B 的缝隙量,从而说明了干扰弹 B 的纹理密度大于飞机 A 的纹理密度.因此,可以说缝隙是一个不同于分形维数的分形特征.当用分形维数无法区分两个分形集时,可考虑缝隙特征.分形维数和缝隙是从两个不同的方面对分形集的描述.

## 2.2 飞机与干扰弹内部缝隙特征的比较

由前面的分析可知,干扰弹内部的纹理基元小于飞机的纹理基元,图 5 为缝隙参数随盒子尺寸变化的特征曲线,图中实线为飞机的缝隙特征曲线,虚线为干扰弹的缝隙特征曲线.从图 5 可以看出飞机和干扰弹内部的缝隙参数是有区别的,最明显的就是干扰弹曲线下降的速度比较快( $L$  为盒子边长).

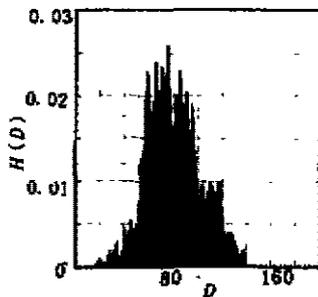


图 2 飞机 A 分形维数直方图  
Fig. 2 The fractal dimension histogram of plane A

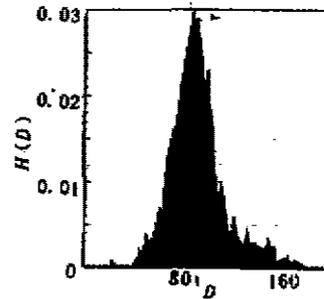


图 3 干扰弹 B 分形维数直方图  
Fig. 3 The fractal dimension histogram of disturbance B

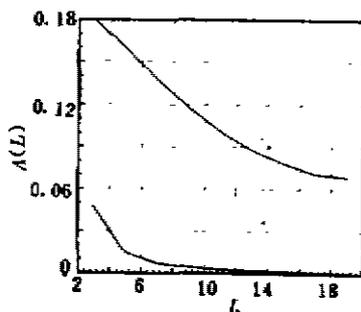


图 4 缝隙特征图  
Fig. 4 The curves of lacunarity

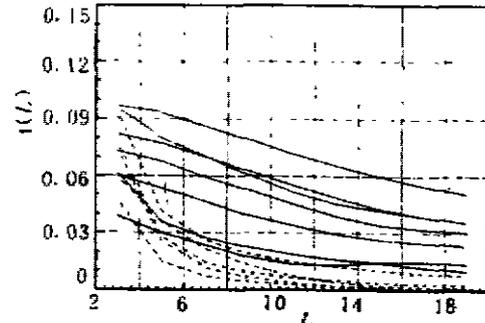


图 5 缝隙特征曲线  
Fig. 5 The characteristic curves of lacunarity

## 2.3 与传统特征提取方法的比较

传统的特征提取方法主要是从目标的形状和点线结构入手,提取的特征主要有长宽比、占空比、角点数、灰度梯度等.

从表 1 和 2 可以看出,飞机在部分受遮挡和旋转时,缝隙特征量的变化不很大,具有较好的稳定性.而传统特征的变化则较大,甚至引起干扰弹和飞机的混淆.

表1 飞机在部分受遮挡时特征量的变化

Table 1 The change of features in the condition of partly covered plane

	缝隙曲线下降速率	灰度极点	长宽比	占空比	角点数
飞机 1	0.0096	6	1.75	0.44	3
飞机 1 被遮挡时	0.0108	3	1	0.7	1

表2 飞机姿态旋转时特征量的变化

Table 2 The change of features in the condition of rotating plane

	缝隙曲线下降速率	灰度极点	长宽比	占空比	角点数
飞机 2	0.0187	15	1.75	0.27	6
飞机 2 旋转时	0.0142	7	2.21	0.619	4

本文以缝隙特征的变化规律作为识别特征,对于单个数值来说,可靠性增强,并且受环境变化的影响较小,具有较高的实用价值.

### 参考文献

- 1 Keller J M, Chen Susan. *Computer Vision Graphics and Image Processing*, 1989, 45: 150~166
- 2 Mandelbrot B B. *The Fractal Geometry of Nature*, San Francisco, CA; Freeman 1983, 310~318
- 3 王丽君, 杨宜禾, 赵亦工, 等. 红外与毫米波学报, 1996, 15(4);

## APPLICATION OF HIGH-ORDER FRACTAL FEATURE TO TARGET FEATURE EXTRACTION\*

Wang Lijun Yang Yihe Zhao Yigong Xiang Jianyong

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

**Abstract** Man-made air-target infrared images were analyzed by using fractal theory and lacunarity feature was extracted for recognition, which is a high-order fractal feature. In contrast to the traditional image features, recognition by using this feature will have higher reliability and geometric invariation, shown by experiments.

**Key words** high-order fractal feature, man-made target.

\*The project supported by the National Defense Preliminary Research Fund of China