

261-2/0

# 分形理论在空中目标识别中的应用\*

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)

TJ765.333  
018

**A** **摘要** 以分形理论为基础, 为空中人造目标的红外图像建立了一个新模型, 提取出具有较好几何不变性的特征——目标和干扰物灰度曲面的分形维数随尺度的变化规律, 并以这种规律作为识别特征. 将分形特征与传统的特征作了比较. 大量的实验及理论分析表明, 该特征具有较高的识别能力和识别可靠性.

**关键词** 分形, 人造目标, 识别.

目标识别 红外成像制导

## 引言

**B** 红外成像制导技术在识别目标时需要利用红外图像中真假目标间的特征差异, 但是对目标攻击时, 通常会因攻击方向不同, 使图像特征有很大的变化. 传统的几何特征和灰度特征较难满足空间不变性的要求, 究其原因, 主要在于传统的特征是基于欧氏空间数学模型的, 而实际场景所处随机环境的复杂性和不规则性已超出了常规模型所能描述的范围. 近几年发展起来的分形几何理论为研究这种不规则集提供了总的框架. 在二维图像中, 若将像点的灰度值看作空间深度, 则形成了一个三维空间, 图像中像点可看作是点在空间作布朗运动的轨迹, 因此, 可用分形模型对图像作描述. 国内外关于分形理论在图像处理方面的应用多用于自然场景分析, 本文将其用于人造目标图像分析, 工作是初创性的.

## 1 适用于图像的分形维数计算原理

分形思想的基本点可简单描述如下: 分形研究的对象是具有自相似性的无序系统, 其维数的变化是连续的. 在实际中, 常用 Richardson 定律来估计分形维数, 即

$$M(\epsilon) = K\epsilon^{d-D},$$

其中  $\epsilon(1, 2, 3, \dots)$  为尺度,  $M(\epsilon)$  是尺度  $\epsilon$  下的度量特征值,  $D$  是分形维数,  $d$  是拓扑维数,  $K$  是常数.

对于图像, 其灰度起伏可看作是一个灰度曲面, 因此 Richardson 定律成为如下形式:

$$A(\epsilon) = K\epsilon^{2-D}. \quad (1)$$

其中曲面面积  $A(\epsilon)$  可由 Covering-Blanket 法求得, 即考虑与曲面相距为  $\epsilon$  的所有点, 显然灰度曲面以上的点构成了一个上曲面, 以下的点构成一个底曲面. 这样, 上面与底面形成了一个将被研究曲面夹在其中的厚度为  $2\epsilon$  的毯子. 则灰度曲面的面积等于毯子的体积  $V(\epsilon)$

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

除以毯子的厚度  $2\epsilon$ , 具体方法如下:

(1) 在 0 尺度时,  $u_0(i, j) = b_0(i, j) = g(i, j)$ , 其中  $(i, j)$  表示图像中的任一像素,  $g(i, j)$  表示  $(i, j)$  点灰度值;

(2) 当尺度  $\epsilon$  改变时, 上面和底面取值规律为  $U_\epsilon(i, j) = \max\{U_{\epsilon-1}(i, j) + 1, \max U_{\epsilon-1}(m, n)\}$ ,  $B_\epsilon(i, j) = \min\{B_{\epsilon-1}(i, j) - 1, \min B_{\epsilon-1}(m, n)\}$ . 其中  $\epsilon \geq 1$ ,  $|(m, n) - (i, j)| \leq 1$  表示  $(i, j)$  的四邻域范围,  $|(m, n) - (i, j)| < 2$  表示八邻域范围. 为了保证尺度  $\epsilon$  下和毯子完全包含尺度  $(\epsilon-1)$  下的毯子, 我们选择八邻域;

(3) 毯子体积  $V(\epsilon) = \sum_{(i,j)} U_\epsilon(i, j) - B_\epsilon(i, j)$ ;

(4) 灰度曲面的面积  $A(\epsilon) = V(\epsilon) / 2\epsilon$ .

分形维数是分形的一个非常重要的参数, 它反映了一个分形体的不规则程度, 分形维数越大, 则分形体越不规则. 一个真正理想的分形体在所有尺度上均满足自相似性, 分形维数与尺度无关, 即在任何尺度下都保持常数. 对于某些自然景物和人造物体, 自相似性只体现在很小的尺度范围上. 基于实验和观察, 图像是由一些只在有限范围尺度上有相似性的灰度表面所组成, 相应的分形维数只在较小的尺度范围内才具有稳定性, 即分形维数是随着尺度的改变而变化的. 同一物体在不同的尺度下, 有不同的分形维数. 对  $(\log(\epsilon-1), \log A(\epsilon-1))$ 、 $(\log \epsilon, \log A(\epsilon))$ 、 $(\log(\epsilon+1), \log A_\epsilon(\epsilon+1))$  作最小二乘拟合, 可得在尺度  $\epsilon$  下的分形维数  $D(\epsilon)$ .

## 2 实验结果及分析

我们对 31 幅飞机图像和 30 幅干扰弹图像作了实验, 发现了这样的规律: 随着尺度的增加, 飞机的分形维数是增加的, 而干扰弹的分形维数是减少的. 图 1 和图 2 分别为任选的 4 幅飞机和干扰弹图像的灰度分形维数的特征曲线, 其中  $\epsilon$  为尺度,  $D(\epsilon)$  为分形维数.

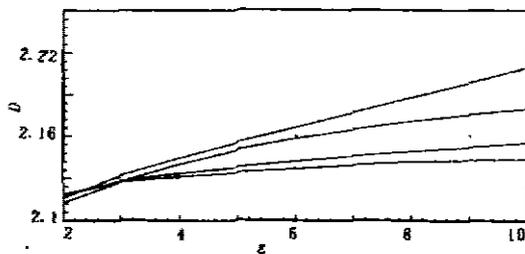


图 1 飞机表面分形维数的特征曲线  
Fig. 1 The characteristic curves of fractal dimension for planes

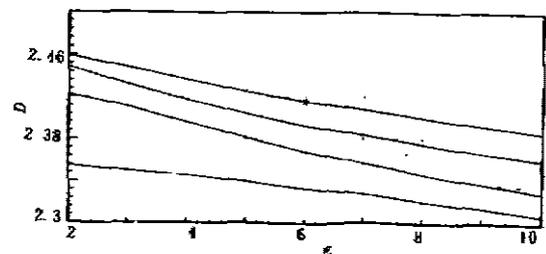


图 2 干扰弹内部分形维数的特征曲线  
Fig. 2 The characteristic curves of fractal dimension for disturbance

2.1 针对上述实验结果, 可作如下理论解释: 飞机和干扰弹虽然同为人造物体, 但是由于它们自身的结构状况、温度分布不同, 导致了分形维数随尺度的不同的变化规律. 飞机表面比较光滑, 从图像上看是上一块块较平滑的小区域组成的 (见图 3). 当尺度小时, 分形特征由相距较近的像素间的关系来体现, 此时小区域的平滑性体现较强, 即像素间灰度的变化缓

慢,故维数较低,而随着尺度的增加,分形特征由相距较远的像素间的关系来体现,小区域的平滑性逐渐消失,代之为区域间的不规则性,故维数升高. 对干扰弹来说,维数的变化趋势正好相反. 干扰弹内部不具备人造物体的区域平滑性. 干扰弹内部散布着许多小颗粒,纹理较丰富,细节较多,即比较粗糙(见图 4). 当尺度小时,分辨率较高,因此内部粗糙的小颗粒完全显露出来了,造成了表面较高的不规则性,所以维数较高;当尺度增大时,分辨率降低,内部的粗糙细节随尺度的增加逐渐消失,所以维数较少.



图 3 飞机图像

Fig. 3 The image of a plane



图 4 干扰弹图像

Fig. 4 The image of a disturbance

2.2 以上实验结果得出的规律可作为飞机和干扰弹的识别特征. 提取出一个特征量即维数升降因子:

$$\text{slope} = \frac{1}{N-2} \sum_{i=3}^N [D(\varepsilon) - D(2)], \quad (2)$$

式中  $D(\varepsilon)$  表示尺度为  $\varepsilon$  时的分形维数估值结果,  $N$  表示最大的尺度. 实验结果表明:飞机的维数升降因子 slope 都是大于零的,而干扰弹的维数升降因子是小于零的.

2.3 与传统的特征提取方法相比较,传统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 可以看出飞机的部分受遮挡之后,分形特征具有较好的稳定性和不变性. 而传统的特征则变化较大,甚至会引起对飞机和干扰弹的识别错误. 单一维数值反映了物体表面的粗糙程度,而实际环境是千变万化的,在不同的条件下,成像后的物体表面的粗糙性会有较大的不同,因此无法给出一个普适的维数值或维数值的变化范围. 本文的工作是以维数随尺度的变化规律作为识别特征,相对于单个数值,可靠性提高,并且利用了物体内在空间结构特性,受环境变化影响较小,因此具有很高的实用价值.

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 plane being covered partly

	分形维数升降因子	灰度极点	长宽比	占空比	角点数
飞机 1	0.055331 > 0	6	1.75	0.44	3
飞机 1 受遮挡时	0.054220 > 0	3	1	0.7	1

## 参考文献

- 1 Mandelbrot B B. *The Fractal Geometry of Nature*, San Francisco CA; Freeman, 1983
- 2 Peli T. *SPIE*, 1989, 1199, 402~415
- 3 Pentl Alex P. *IEEE Trans.*, 1984, PAMI-6(6), 661~674

## APPLICATION OF FRACTAL THEORY TO AIR-TARGET RECOGNITION\*

Wang Lijun Yang Yihe Zhao Yigong Xiang Jianyong

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

**Abstract** A new model based on fractal theory for the infrared images of man-made Air-targets was founded. Fractal feature based on geometric invariance was extracted, which is the variation of fractal dimension of target gray surface with scales. In contrast to the traditional image features, recognition by this feature will have higher recognizing ability and reliability shown by experiments and theoretical analysis.

**Key words** fractal, air-target, recognition.

---

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