

· 光电工程系统技术 ·

分形在红外伪装效果评价中的应用

杨 辉¹, 徐 鑫¹, 谢 卫², 吕绪良¹, 张拴勤²

(1. 解放军理工大学, 江苏 南京 210007; 2. 总装工程兵科研一所, 江苏 无锡 214035)

摘 要:提出了利用红外图像的分形特征评价伪装效果的新方法. 首先获得目标伪装前后的红外图片; 然后运用“毯覆盖”法, 计算了伪装前后目标与周围 6 处背景的分形维数; 最后通过伪装前后目标与背景分形维数的差异分析它们的相似性, 结果表明, 伪装后目标与背景的相似性明显的增强. 初步验证了分形应用于伪装效果评价是可行的.

关键词:分形; 红外图像; 伪装效果评价

中图分类号: E919

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)05-0007-03

Application of Fractal Theory in Evaluation of Infrared Camouflage Effectiveness

YANG Hui¹, XU Xin¹, XIE Wei², LV Xu-liang¹, ZHANG Shuan-qin²

(1. PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China;

2. The First Engineers Scientific Research Institute of the General Armaments Department, Wuxi 214035, China)

Abstract: A new method to evaluate camouflage effectiveness by using the fractal character of infrared image was put forward. Infrared images of the object before and after camouflage were obtained. The fractal characters of the object and six around backgrounds before and after camouflage through Covering-Blanket were calculated. The comparability between the object and around backgrounds by the difference of their fractal characters was analyzed. The experiment result shows that comparability of the object and natural background before and after camouflage is enhanced, and the fraction is available to evaluate camouflage effectiveness.

Key words: fractal; infrared image; evaluation of camouflage effectiveness

在对目标进行热红外伪装时, 评估其伪装效果常常以面层材料的发射率为指标, 而忽略了对红外探测有着重要影响的斑点形状和空间分布情况的研究. 大自然具有很强的不规则性, 自然景物形状复杂, 不具有连续光滑的数学性质, 无法用描述规则形体的欧氏几何来描述自然景物. 分形是一种描述不规则形体的有效方法. 由于自然背景的红外图像有一定的均匀性和自相似性, 而人造目标的红外图像与自然背景之间必然存在着一定的突变和奇异性. 基于此, 文中选取分形布朗运动模型作为自然背景的数学模型, 提取伪装前后目标与周围背景的分形特征, 可较客观地评价伪装效果.

1 分形理论及评价模型

1.1 分形理论介绍

分形理论产生于 20 世纪 70 年代, 发展至今, 已广泛用于数学、物理、化学、计算机科学、材料科学等领域. 大量研究、实验表明^[1-3], 自然背景和人造目标在某些分形特征上存在着本质的差别. 基于分形理论的图像分维值可以作为红外图像纹理特征的指标之一. Mandellbrot 指出^[2]分形布朗运动 (FBM: fractional brownian motion) 模型能成功的描述自然

收稿日期: 2009-09-02

作者简介: 杨辉(1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理.

背景的分形模型.

分形是一个点的集合^[4],该集合的分维数(fractal dimension 以下简称 FD)严格大于它的拓扑维数.分形的一个很重要的性质是它的自相似性,对于分形曲面,该性质可表述为

$$A(r\xi) = r^{d-FD}A(\xi) \quad (1)$$

式中, $A(\xi)$ 为分形曲面的表面积; ξ 为度量时使用的面积元尺度; r 为尺度因子; d 为该集合的拓扑维数; FD 为该曲面的分维数,描述了曲面的粗糙程度.式(1)的解为

$$A(\xi) = \alpha\xi^{(d-FD)} \quad (2)$$

式中, α 为常数.对式(2)方程两边取对数,有

$$\log[A(\xi)] = C_2\log(\xi) + C_1 \quad (3)$$

1.2 分形特征提取

对 FBM 模型,依据 Mandelbrot 的“毯覆盖”^[5](covering-blanket)法对模型的分形特征参数进行提取,这里图像被表示为三维空间的曲面,即 FBM 函数,其高度等于该点图像的灰度值.具体算法如下:

设待处理的图像为 $g(i, j)$,则当度量尺度为零(即 $\xi=0$)时,覆盖图像的上表面 $U(i, j, \xi)$ 和下表面 $L(i, j, \xi)$ 定义为

$$U(i, j; 0) = L(i, j; 0) = g(i, j) \quad (4)$$

对于非零尺度, $\xi=1, 2, \dots, M$,覆盖图像的不同尺度的上表面 $U(i, j, \xi)$ 和下表面 $L(i, j, \xi)$ 可用如下的递归公式求得

$$U(i, j, \xi+1) = \max\{U(i, j, \xi) + 1, \max_{k, m \in \sigma} [U(k, m, \xi)]\} \quad (5)$$

$$L(i, j, \xi+1) = \min\{L(i, j, \xi) - 1, \min_{k, m \in \sigma} [L(k, m, \xi)]\} \quad (6)$$

$$\sigma = \{(k, m) | d[(k, m), (i, j)] \leq 1\} \quad (7)$$

式中, $d[(k, m), (i, j)]$ 为 (k, m) 和 (i, j) 两点间的距离.据此可知,原图像 $g(i, j)$ 在 (i, j) 处的表面积 $A(i, j, \xi)$ 可由下式求得

$$A(i, j, \xi) = \sum_{k, m \in \Sigma} [U(k, m, \xi) - L(k, m, \xi)] / 2\xi \quad (8)$$

式中, Σ 为中心在 (i, j) 处的矩形窗.

因此,由式(3)知,只要用不同的尺度时求得的表面积 $A(i, j, \xi)$, $\xi=1, 2, \dots, M$,在 $\log[A(i, j, \xi)] \sim \log(\xi)$ 双对数坐标下作直线的最小二乘拟合,就可求得图像 $g(i, j)$ 在矩形框 Σ 中心 (i, j) 处的分

形维数

$$FD(i, j) = d - C_2 \quad (9)$$

对于二维图像,易知其拓扑维数 $d=2$,因此,式(9)可表示为

$$FD(i, j) = 2 - C_2 \quad (10)$$

1.3 评价模型建立

由于分形模型在一定的尺度范围内可很好地与自然物体表面与空间结构相吻合,而人造物体则不具有这一特点,因此目标与背景分形维数的差别能够客观的反映它们的相似程度.对于一幅图像的各个局部而言,其分形模型的特征参数是不同的,选取目标及其周围感兴趣的 n 处背景作为研究对象.计算其分形维数分别为: $D_0, D_i (i=1, 2, \dots, n)$.

定义目标与背景的相似指标

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |D_0 - D_i| \quad (11)$$

若 S 较小,表明目标与背景相似程度大;反之,相似程度小.

2 仿真实验及分析

2.1 图像获取与处理

在林地型背景下,距离 400 m 拍摄了目标及搭设伪装网后的红外图像.图 1 是包含目标(车)的热像图,图 2 是在目标处搭设了伪装网后的热像图.使用中值滤波对 2 幅图像进行去噪处理,并分别提取出伪装前后大小、位置相同的目标的图像和周围 6 处背景的背景的图像.

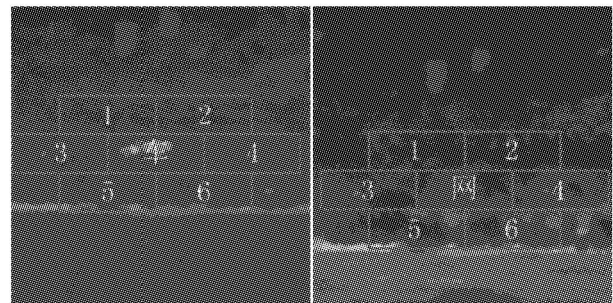


图 1 伪装前

图 2 伪装后

2.2 分形特征计算

基于所述的算法,计算目标及其周围背景的分

形维数,其中伪装前目标与6处背景(图1)的分形维数分别为 $D_0、D_1、D_2、D_3、D_4、D_5、D_6$;伪装后目标与6处背景(图2)的分形维数分别为 $D_0'、D_1'、D_2'、D_3'、D_4'、D_5'、D_6'$.计算结果如表1所示.

表1 分形维数

分形维数		分形维数	
D_0	2.797 6	D_0'	2.689 6
D_1	2.430 9	D_1'	2.649 1
D_2	2.499 3	D_2'	2.610 1
D_3	2.649 4	D_3'	2.592 9
D_4	2.608 0	D_4'	2.652 9
D_5	2.738 2	D_5'	2.664 5
D_6	2.688 6	D_6'	2.694 5

2.3 结果与讨论

2.3.1 结果分析

按所述方法,计算伪装前后目标与背景的相似指标 $S、S'、\Delta D_1、\Delta D_2、\Delta D_3、\Delta D_4、\Delta D_5、\Delta D_6、\Delta D_1'、\Delta D_2'、\Delta D_3'、\Delta D_4'、\Delta D_5'、\Delta D_6'$ 分别表示伪装前后目标与周围感兴趣背景的分形维数差($\Delta D = |D_0 - D_i| (i = 1, 2, \dots, n)$),如表2所示.

表2 相似指标

	伪装前		伪装后
ΔD_1	0.366 7	$\Delta D_1'$	0.040 5
ΔD_2	0.298 3	$\Delta D_2'$	0.079 5
ΔD_3	0.148 2	$\Delta D_3'$	0.096 7
ΔD_4	0.189 6	$\Delta D_4'$	0.036 7
ΔD_5	0.059 4	$\Delta D_5'$	0.025 1
ΔD_6	0.109 0	$\Delta D_6'$	0.004 9
S	0.195 2	S'	0.045 6

由表2中可以看出伪装后目标与背景更加的相似,这与伪装前后的红外图像表现出来的情况是显然一致的.

2.3.2 讨论

由表1看出图1背景1、2处分形维数明显的小于其他背景和目标,通过热像图分析看出,在图像1、2处背景是单一的树林,而其他背景则比较复杂,

图像上显得比较斑驳;由表2看出,在图像1、2处目标在伪装前后相似度差别最大,而从视觉角度发现背景1、2处与其他4处背景在伪装前后的热像图并没有明显的区别.而仔细观察热像图2发现,在搭设伪装网后的1、2处,包含了伪装网的上沿,而不再是单一的林地背景,因此可以推测正是由于伪装网的轮廓引起的分形维数的突变.所以,此种方法应用于红外伪装效果评价主要是应用于单一的背景,而对于复杂的背景并不一定能准确的区别出目标.因此在单一的背景下利用分形特征进行红外伪装效果评价是非常有效可行的.

3 结 论

自然背景有很强的分形特征,分形维数能直接的表征这一特征.在介绍分形理论的基础上,利用目标与自然背景在分形特征上的差异,通过计算二者分形维数,定义相似指标对目标红外伪装效果进行了评价.这是分形理论在伪装实践中的初次运用,验证了提取分形特征进行红外伪装效果评价的可行性.文中只是计算了图像区域的单分形特征,深入挖掘图像的多分形特性,还需进一步研究.

参考文献

- [1] A P Pentland. Fractal-based description of Nature Scenes [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis Machine Intelligence, 1984, 6(6): 661 - 674.
- [2] B B Mandelbrot. The Fractal-Geometry of Nature[M]. New York: W H Freeman, 1983.
- [3] Michael C Stein. Fractal image models and Object Detection [J]. SPIE Visual Communications and Image Processing, 1987, 45(8): 293 - 300.
- [4] [英] Kenneth J. Falconer. 分形几何——数学基础及其应用[M]. 曾文曲, 刘世耀. 沈阳: 东北大学出版社, 2001.
- [5] 赵亦工, 朱红, 向健勇. 基于分形特征的人造目标检测技术[J]. 红外与毫米波学报, 1997, 16(3): 215 - 220.
- [6] 张前进. 自然背景下对人工红外目标的分形[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(9): 132 - 134.
- [7] 陈宏辉, 曾朝阳, 沈均平, 等. 图像相似度在伪装评价中的应用[J]. 光电技术应用, 2006, 21(5): 28 - 30.
- [8] 闫晓珂, 史彩成, 赵保军, 等. 基于分形和动态规划的复杂背景红外目标边缘检测[J]. 北京理工大学学报, 2005, 25(10): 909 - 912.