

WorldView-1 卫星植被全色图像分形维数的计算方法^①

邹涛, 漆德宁, 张冬英, 罗军, 周杰

(陆军军官学院 信息工程教研室, 合肥 230031)

摘要: WorldView-1 卫星可进行高分辨率的全色段成像和细节化的精确制图, 其中植被图像的特征提取对于后续识别、分类等研究, 具有重要的应用价值。利用分形理论在图像识别中的优势, 结合 WorldView-1 植被全色图像的特征, 提取一定规模的植被图像块, 分别以 Hausdorff 算法、Box-counting 算法、Euclidean distance map 算法及毯覆盖法进行分形维数提取和比较分析, 寻求适合 WorldView-1 植被全色图像的分形维数计算方法。实验结果表明, 毯覆盖法计算维数比另外三种算法稳定, 适合求取 WorldView-1 影像分形维数。

关键词: 遥感; WorldView-1 卫星; 分形; 全色; 植被

Computing Fractal Dimension of the WorldView-1 Panchromatic Vegetation Image

ZOU Tao, QI De-Ning, ZHANG Dong-Ying, LUO Jun, ZHOU Jie

(Information Engineering T&R Section, Army Officer Academy, Hefei 230031, China)

Abstract: The WorldView-1 satellite can provide panchromatic image with a dramatic improvement in spatial resolution, among these the feature extraction of vegetation image has an important application in identification and classification. Taking the advantage of fractal theory in image identification and combining the character of WorldView-1 panchromatic vegetation image, the fractal dimension of WorldView-1 panchromatic vegetation image is calculated by applying the Hausdorff algorithm, Box counting algorithm, Euclidean distance map algorithm and Blanket algorithm. The result indicates the Blanket algorithm was the most stable when compared with the other three algorithm and is suitable for computing the fractal dimension of the WorldView-1 panchromatic vegetation image.

Key words: remote sensing; WorldView-1 satellite; fractal; panchromatic; vegetation

1 引言

基于对复杂景物自相似性的描述, Benoit B.Mandelbrot 创立了分形几何学理论, 提出了使用分形维数来度量自然界各种复杂现象的不规则程度^[1]。由于自然界中不同种类的物质形态一般具有不同的分形维数, 且自然界的分形与图像的灰度之间有一定的对应关系, 因此分形维数可以用来描述图像表面的纹理特征和粗糙程度。许多研究人员将它应用于自然纹理图像描述^[2]、模式识别^[3]等领域中。当前, 分形理论应用于遥感信息处理, 主要对遥感影像的特征信息提取、信息融合、辅助遥感图像分类、模拟遥感图像及遥感图像仿真等方面的研究提供重要的理论和依据^[4], 将分形理论引入到遥感图像处理中来, 为遥感图像分析和处理提供了新的思路与方法, 随着研究的不断深入,

分形理论一定能大大促进遥感科学的飞速发展。本文利用几种不同的分形算法对 WorldView-1 卫星全色波段图像求取植被的分形维数, 实验得出毯覆盖法适合该卫星图像的维数提取。

2 分形维数

分形维数(fractal dimension), 又叫分维、分数维, 是分形几何学定量描述分形集合特征和几何复杂程度的参数, 它是标度变换下的不变量。欧氏空间的几何图形的维数是整数值, 而分形的维数是分数值。

2.1 盒维法(box-counting, 简称 BC)

盒维法是较常用的计算分形图形分形维数的实用方法。将分形图形用边长为的小盒子覆盖起来, 由于分形图形内部有各种层次的空间和缝隙, 所以有些小盒

^① 收稿时间:2011-11-01;收到修改稿时间:2011-12-05

子没有与分形图形相交,有些小盒子则覆盖了分形的一部分。将非空盒子计数为,然后将盒子的尺寸缩小,仍记为 r ,那么得到的 $N(r)$ 必将增大。当 $r \rightarrow 0$ 时,得到盒维法定义的分维:

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\lg N(r)}{\lg r}$$

它一般使用最小二乘法得到斜率。

2.2 欧几里德距离法 (Euclidean distance map,简称 EDM) [5]

欧几里德距离是在 m 维空间中两个点之间的真实距离。利用欧几里德距离来对图像进行分形维数的计算如下:如果以像素为单位,把图像看成 N 行 M 列的矩阵,即 $M \times N$, (i,j) 代表 i 行第 j 列的像素。则变换得到的二值图像 $B = \{b_{i,j}\}$, 其中 $b_{i,j} \in \{0,1\}$, 那么 B 的 EDM 定义为 $d_{i,j} = \min_{p \geq 1, q \leq N} \sqrt{(i-p)^2 + (j-q)^2} | b_{pq} = 0$ $D = \{d_{i,j}\}$

2.3 Hausdorff 维数

Hausdorff 测度与维数是分形理论及应用中最关键的数学概念。令 R^n 为 n 维空间, E 为 R^n 中任一非空子集, E 的直径定义为:

$$\text{diam}(E) = \sup\{|x - y| : x \in E, y \in E\}$$

对于 R^n 中的可列子集族 $\{U_i\}$, 如果 $0 < \text{diam}(U_i) \leq \delta$, 且 $U_i \geq 1, U_i \supseteq E$, 则称 $\{U_i\}$ 为 E 的一个 δ 覆盖。设 E 为 R^n 中任一非空子集, $s \geq 0$, 对于任何 $\delta \geq 0$ 定义:

$H_\delta^s(E) = \inf\{\sum_{i=1}^{\infty} \text{diam}(U_i)^s : \{U_i\} \text{ 为 } E \text{ 的一个 } \delta \text{ 覆盖}\}$ 作为 δ 的函数, $H_\delta^s(E)$ 是单调非减的, 从而当 $\delta \rightarrow 0$ 时, 它的极限存在。记:

$$H^s(E) = \lim_{\delta \rightarrow 0} H_\delta^s(E)$$

称 $H^s(E)$ 为集合 E 的 S 维 Hausdorff 维数。设 E 为 R^n 中任一非空子集, 定义 E 的 Hausdorff 维数 $\dim_H E$ 为:

$$\dim_H E = \inf\{s : H^s(E) = 0\} = \sup\{s : H^s(E) = +\infty\}$$

由于 Hausdorff 维数较合理理论上的推导, 在实际的应用中, 主要用其它几种方法求取分形维数。

2.4 毯覆盖法 [6]

设 $f(i, j)$ 代表灰度值函数, u_ε 、 b_ε 分别代表上表面和下表面。先令 $u_0(i, j) = b_0(i, j) = f(i, j)$, 则上下 2 张“毯子”分别沿如下的方法生长:

$$u_\varepsilon(i, j) = \max\{u_{\varepsilon-1}(i, j) + 1, \max_{d(i, j, m, n) \leq 1} (u_{\varepsilon-1}(m, n))\},$$

$$\varepsilon = 1, 2, 3, \dots,$$

$$b_\varepsilon(i, j) = \min\{b_{\varepsilon-1}(i, j) - 1, \min_{d(i, j, m, n) \leq 1} (b_{\varepsilon-1}(m, n))\},$$

$$\varepsilon = 1, 2, 3, \dots,$$

因此“毯子”的容积为:

$$v_\varepsilon = \sum_{i, j} (u_\varepsilon(i, j) - b_\varepsilon(i, j))$$

表面积为:

$$A(\varepsilon) = \frac{(v_\varepsilon - v_{\varepsilon-1})}{2}$$

由于分形表面积符合关系式, 则

$$\log A(\varepsilon) = c_1 \log \varepsilon + c_0$$

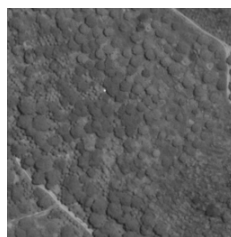
式中: $c = 2 - D$ 为拟合直线的斜率。由此可求出分形维数 D

3 WorldView-1 卫星

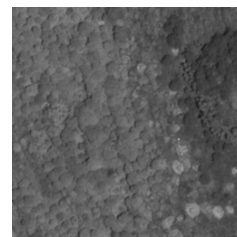
WorldView-1 是 2007 年 9 月 18 日发射的高精度商业卫星, 该卫星运行在高度 450 km 的太阳同步轨道上, 平均重访周期为 4.6 天, 星载大容量全色成像系统每天能够拍摄多达 75 万平方公里的图像 [7], 星下点的影像条带宽度为 17.6 公里, 星下点分辨率为 0.5 米。WorldView-1 全色波段的范围是 400~920nm, 卫星具备精度定位能力和极佳的响应能力, 能够快速瞄准要拍摄的目标和有效地进行同轨立体成像。

4 实验分析和结论

同一张卫星图片可能有许多不同的数据可作为计算分维的原始数据, 并且每种算法得到的分形维数也是不相同的。以下对 WorldView-1 卫星全色图像分别进行毯覆盖法、Hausdorff 维数、BC、EDM 维数的计算。该图像摄于 2009 年, 为福建某地区卫星图形, 取 64 个样本进行计算, 植被图像分辨率为 0.5 米, 大小为 256256 像素, 下表列举了实验数据。



(a)



(b)

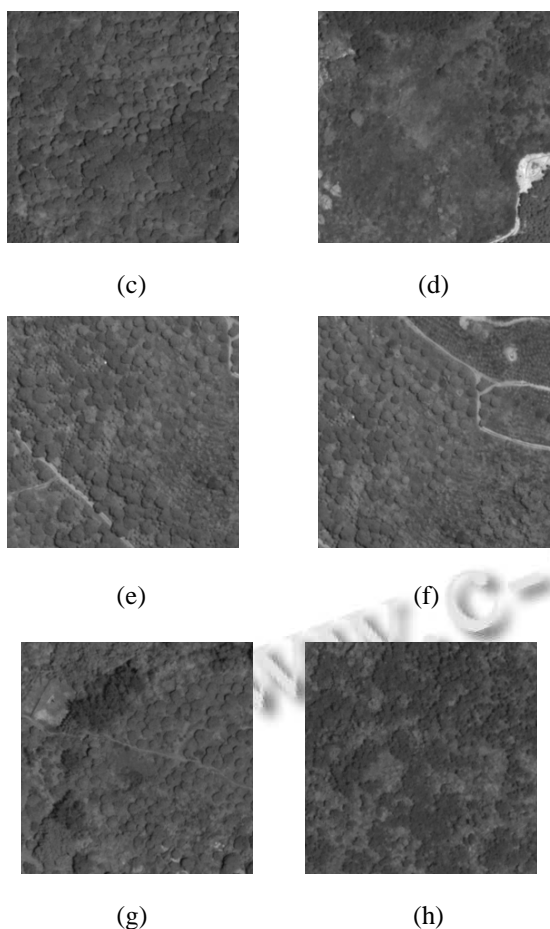


图 1 WorldView-1 植被图像

表 1 卫星指标

Worldview-1 卫星指标	
成像模式	全色
成像时间	2009 年 11 月 13 日
地面分辨率	0.5 米
成像方式	推扫成像
数据传输	图像与辅助数据:800 Mbit/s, X 波段
	内务数据: 4、16 或 32 kbit/s 实时, 524 kbit/s 存储
	指令数据: 2 或 64 kbit/s, S 波段
地理定位精度(圆误差)	无地面控制点时: 5.8-7.6 m
	有地面控制点时: 2 m
	有精度传输服务器时: 3-3.5 m

表 2 给出了几种计算维数的方法所得出的平均维数、最大维数值、最小维数值及相同方法之间的标准差, 从表中我们可以看出: 使用不同的分形维数计算公式对相同图像所计算出的分形维数是不相同的, 用 Blanket 方法计算的分形维数最大, Hausdorff 和 EDM

其次, BC 最小。从图 2 可以看出, 使用 Blanket 方法计算的植被维数值分布范围小, 标准差值最小, 曲线基本处于一条直线上, 说明 Blanket 的计算方法稳定, 比较适合 WorldView-1 植被全色图像分形维数的提取。

表 2 分形维数统计

Worldview-1 卫星图像植被分形维数统计				
算法	Mean	Max	Min	std
Hausdorff	1.6299	1.6817	1.5498	0.0311
B C	0.8966	1.1216	0.5210	0.1741
E D M	1.0360	1.2382	0.5871	0.1635
Blanket	2.2742	2.2856	2.2670	0.0045

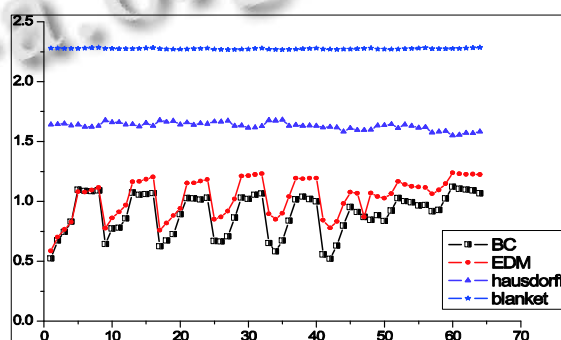


图 2 维数统计图

参考文献

- 1 Mandelbrot BB. Fractal form, chance and dimensions. An Francisco Freeman. 1977.
- 2 王华,王祁,孙金玮.基于自相关函数的自然纹理图像分形维数的估计.北京航空航天大学学报,2004,30(8):718-722.
- 3 Lin KH, Lam KM, Siu WC. Locating the human eye using fractal dimensions. International Conference on Image Processing, 2001,(3):1079-1082.
- 4 吴健平.分形理论在遥感中的应用.遥感技术与应用,1993,8(12):23-27.
- 5 Wong HS, Buenfeld NR. Euclidean distance mapping for computing microstructural gradients at interfaces in composite materials. Cement and Concrete Research, 2006, 36(6):1091-1097.
- 6 Peleg S, Narorand J, Hartley R. Multiple resolution texture analysis and classification. IEEE Trans. PAM I, 1984,6(4): 518-523.
- 7 Krause KS. World View-1 pre and post-launch radiometric calibration and early on-orbit characterization.