文章编号：1003-501X(2005)02-0023-03

数字图像单个像元分形维数的特征与计算方法

朱 骥[1, 3, 4]，林子瑜[2]，王昂生[3]

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所，四川 成都 610041；
2．东华理工学院地球科学系，江西 抚州 344000；
3．中国科学院减灾中心，北京 100029； 4.中国科学院研究生院，北京 100039)

摘要：通过分形理论把空间结构信息引入遥感分类中，必须解决分形维数计算的问题，为此提出了一种通过相邻像元间灰度值大小的变化计算数字图像单个像元分形维数的算法。选定计算窗口值 *L* 后，运用所编程序对 TM 遥感数据进行运算，并得到所需分维值数据。发现所得分维值随窗口值 *L* 增大而减小；大窗口值的分维值图像较抽象，但建议窗口值不超过 61；小窗口值的分维值图像较清晰，但窗口值不能小于 5。

关键词：遥感图像；像元分形; 分维值; 算法

中图分类号：TP751 TP391 **文献标识码**：A

Features and algorithm of fractal dimension of single pixel in digital image

ZHU Ji[1,3,4], LIN Zi-yu[2], WANG Ang-sheng[3]

(1. *Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment*, *the Chinese Academy of Sciences*, *Chengdu* 610041, *China*; 2. *Department of Geoscience, East China Institute of Technology*, *Fuzhou* 344000, *China*; 3. *The Center of Disaster Reduction, the Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100029, *China*; 4. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100039, *China*)

Abstract: In order to introduce spatial structural information into remote sensing classification by fractal theory, the problem of fractal dimension calculation must be solved. For this reason an algorithm that calculates single pixel fractal dimension in digital image through the variations of gray scale value between the adjacent pixels is proposed. After the calculation window value *L* is determined, an operation for TM remote sensing data is carried out by use of the programmed program and the required fractal dimension data can be obtained. It is found that with the increase of window value *L* the obtained fractal dimension will decrease. The larger is the window, the more abstract the image of fractal value is. It is recommended that the window value should be in the range of less than 61 pixels and more than 5 pixels, the fractal dimension image with small window value is clearer.

Key words: Remote-sensing Images; Pixel fractal; Fractal value; Algorithm

引 言

现在数字图像被应用到各行各业中，特别是遥感图像。一般来说，利用遥感图像的关键是遥感图像分类技术。虽然遥感图像包含的信息量是非常巨大和多样化的，但当前在遥感图像分类中主要是以像元的灰度信息作为分类依据，而未利用到图像的空间结构信息，这对遥感信息而言，是一个很大损失，因为光谱灰度信息和空间结构信息应该是具有同等重要的意义。

从目前的技术来说，在遥感图像解译中利用空间结构信息是有一定难度的。于是很多人希望通过分形

收稿日期：2004-02-08；收到修改稿日期：2004-11-19
作者简介：朱 骥（1972-），男（汉族），湖北通山人，博士生，主要研究方向为“3S”技术在灾害治理与资源利用方面的应用。
E-mail: zhufriend@yahoo.com, zhorse74@163.com。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

理论把空间结构信息引入遥感分类中，但要把分形理论用于遥感图像解译之中，首先要解决的一个问题就是如何计算其分形维数。计算遥感图像的分形维数有多种方法，在这里，以一景 TM 影像为例，介绍一种计算遥感图像单个像元分形维数的方法。

1 以单个像元为核心的纹理分形维数计算方法

纹理结构特征可以采用分形方法去检测[1]。基于遥感图像某点相邻像元的灰度变化就可以求得该点的分形维数。用如下方法能计算任一像元的盒维数。

以任一像元为中心，作正东—正西、正南—正北、东南—西北、东北—西南等 4 向轴，按给定 L 截取有效计算范围[0，L]，沿上述 4 向轴分别计算分形维数。任取 $r\in(0，L)$，令 $r=b—a$，$0\le a<b$，设

$$n(r)=\left|f(b)-f(a)\right|/r+1 \tag{1}$$

式中 $f(b)$，$f(a)$是相应像元的灰度值。取尽所有可能的 a 值，可得 $n(r)$（）的平均值

$$\overline{n(r)}=\left[\sum_{a=0}^{L-r}n(r)\right]/(L-r+1) \tag{2}$$

令

$$N(r)=\overline{n(r)}\,L/r \tag{3}$$

并取尽所有可能的 r 值，可得 $N(1)$，$N(2)$ ，…，$N(L)$[2]。由最小二乘法拟出 $\log N(r)$与 $\log(r)$之间斜率的绝对值 k_i[5]数，那么所求点该方向的分维值 $D_i=1+k_i$，其中 $i=1$，2，3，4，分别代表 4 个方向的分维分量。根据特定图像的特点，取 4 向分维的平均值或最大值作为该点的分维值。

2 计算分形维数程序的设计

由于提取分形维数在一般遥感处理软件中还没相应的功能，就需要编写相应程序。在这里有必要声明：在本程序中一般窗口值只取奇数；另外，当中心像元靠近边缘，其计算方向的像元数小于窗口值时，取此方向的最大像元数。程序设计流程图如图 1。

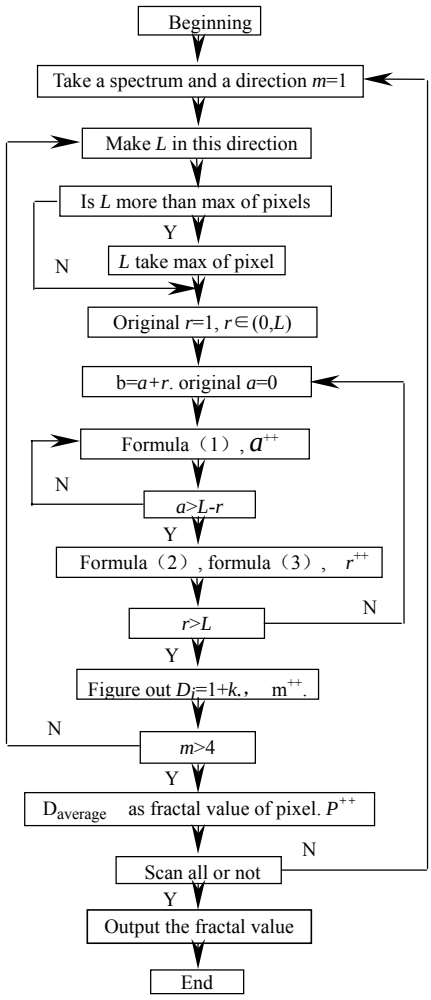


图 1 求分形维数算法程序设计示意图

Fig.1 Sketch of algorithm for fractal dimension

3 计算结果分析与分维值特征

在计算过程中，首先要解决的一个问题就是窗口值的选择问题，先计算大窗口值，后小窗口值。另外，在计算中使用的原数据为 TM1-5 和 TM7 复合图像的第一主成分数据。下面对计算结果和所得分维值特征作一般性介绍。

表 1 各窗口值分维值的统计数据表

Table1 Statistical data of fractal values for various windows

Windows	Minimum	Maximum	Average	Normal variance
61	0.79733	1.4168	1.026	0.027
11	1.0183	6.1913	1.40	0.463
5	1.4361	144.73	24.895	18.248

3.1 窗口值为 61 的计算结果分析与分维值特征

1）从整体上说，用窗口值为 61 计算得到的分维值图像（如图 2）比较抽象，且具明显的雪花状纹理（如图 3）。从整体上讲，大窗口值计算得到的分维值图像难以反映地物的细节特征，但可以反映大范围的整体特征。因此，在地物变化比较小而特征单调的地区开展遥感图像分类时，使用这种窗口值比较适合；而在地物变化较

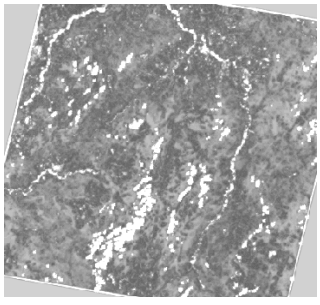


图 2 窗口值为 61 的分维值全图

Fig.2 Fractal image with 61-pixel window value

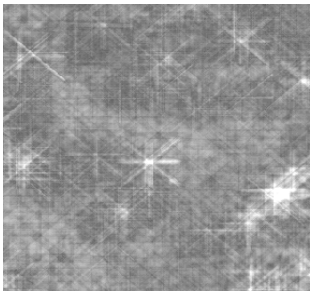


图 3 窗口值为 61 的分维图放大后的纹理

Fig.3 Fractal texture with 61-pixel window value

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

大的地区不适合。

2）所得分维值变化非常小，大于 1 的数值为 99%以上 (如表 1)，分维值分布很正常。

3.2　窗口值为 11 的计算结果分析与分维值特征

1）窗口值 11 的图像较 61 的清晰许多(如图 4)，可以较好地反映地表局部特征。在大窗口值中出现的雪花状纹理也消失了。

2）所得分维值的变化也不大，90%以上的数值 1.0—2.0 之间(如表 1)，分维值分布也较正常，但出现一定的异常值。

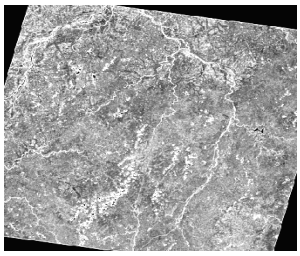


图 4　窗口值为 11 的分维值全图

Fig.4　Fractal dimension image with 11-pixel window value

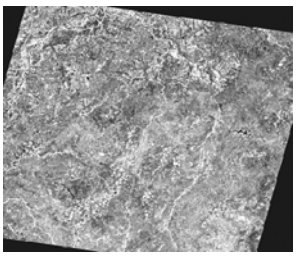


图 5　窗口值为 5 的分维值全图

Fig.5　Fractal dimension image with 5-pixel window value

3.3　窗口值为 5 的计算结果分析与分维值特征

1）窗口值为 5 的分维值图像更加清晰，也更能反映地物细节特征（如图 5）。通过分析,可以得出这样结论：窗口值越小图像越清晰,越能反映地物的细节特征。由于清楚地反映地物细节特征，那么在地物特征变化大的地区，使用这种分维值可以收到较好效果。

2）这种窗口值的分维值变化相当大(如表 1)，从整体上讲,数值也比大窗口值的大。可以说明这种算法所得的分维值随着窗口值减小而增大。但分维值分布很异常，在运用时要注意其实用性。

3.4　有关其他窗口值分维值计算的说明

除了上述三种窗口值的分维值外，还计算过 41，31，19，9 等窗口值的分形维数，不过其特征与上述差不多，且符合上述的变化规律。

另外，还计算过植被指数以及缨帽变换的亮度、绿度和湿度等几种数据的分形维数。由于没有看出有何独特特点，以及暂时也没有发现其有何特殊用途，所以在这里不作详细解释。

至于窗口值大于 61 的，会因窗口值太大而图像过分抽象，难以反映地物特征，所以没有尝试这种计算。 窗口值小于 5 的，实事上只有窗口值为 3 一种可能性。对于窗口值为 3 时，算法中 r 值只有 1 和 2 两个数值，就会由于变换过分简单而难以达到反映地物特征的目的。

4　结　论

本文根据分形几何盒维数的定义，以及图像纹理的特征，得到计算单个像元分形维数算法。并编写了相应程序和计算出一景 TM 遥感图像的每个像元分形维数。该算法具有简单，易操作，易实现的特点。计算出图像的分维值，特别是总结了其特征，为在遥感分类中使用分形维数漫出了一大步。

通过分析计算结果，发现本算法的分维值数据具有这样的特征：窗口值越大，分维值图像越抽象；大窗口值的能够反映大范围地物的整体特征，但难以反映细节特征，因此，在地物变化小而特征单调地区开展遥感图像分类时，使用大窗口值比较适合。窗口值越小，分维值图像越清晰；小窗口值可以反映地物细节特征，因此，在地物组成复杂而特征变化大的地区，使用小窗口值会得到较好效果。另外，根据分析，建议在计算中最大窗口值不超过 61，而最小窗口值不低于 5。

由于本算法只计算核心像元 4 个向轴的分形维数，不能让窗口中的每个像元都参与运算，没有充分利用全部遥感信息，这是本算法中的一个缺陷。

参考文献：

[1] 秦其明, 陆荣建. 分形与神经网络方法在卫星数字图像分类中的应用[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, **36**(6): 858-864.

QIN Q M, LU R J. Satellite Image Classification Based on Fractal Dimension and Neural Networks[J]. **Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis**, 2000,**36**(6): 858-864.

[2] 吴健平. 区域土地利用土地覆盖遥感调查[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1999.

（下转第 29 页）

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由表 1 可得各样本点在世界坐标系上的精确位置,从而为三维恢复提供了良好的条件。

4.3 三维恢复结果

图 4 是在常亮光源下双目系统对单层砂轮地貌所拍摄的左图，虚线框起部分为待恢复区域，系统在此区域内自动取样本点，然后与图 5（右图）匹配对应点即可求出视差。如前所述求得特定点的世界坐标（见表 1）。由一系列世界坐标获得轮廓线，通过“面插值法”即得三维场景的外轮廓面（图 6）。

5 结　论

本文提出一种基于双目图像来恢复砂轮地貌外表面的方法。主要是通过特定的匹配方法来得到各个样本点精确的世界坐标，再由一系列样本点的世界坐标来对三维场景进行精确恢复。实验证明，此方法具有良好的三维场景恢复能力和可行性。

参考文献：

[1] F DORNAKA, R CHUNG. Cooperative Stereo-Motion:Matching and Reconstruction[J]. **Computer Vision and Image Understanding**, 2000, **79**(3): 408－427.

[2] 俞鸿波, 赵荣椿, 王 兵. 基于阴影的三维表面重构技术的概述[J].计算机工程与应用, 2004, **40**(10): 30−33.
YU Hongbo,ZHAO Rongchun,WANG Bing. 3D Surface Reconstruction Based on Shadow[J].**Computer Engineering and Application** , 2004, **40**(10): 30－33.

[3] 薛 强, 张志强, 孙济洲. 一种用于建筑物场景重建的方法[J]. 计算机工程, 2004, **30**(6): 179－181.
XUE Qiang, ZhANG Zhiqiang, SUN Jizhou. A Method of Buildings Scene’s Reconstruction[J]. **Computer Engineering**, 2004, **30**(6): 179－181.

[4] 李介谷. 计算机视觉理论与实现[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1999.
LI Jiegu. **Theory of computer visions and implementation** [M]. Shanghai: ShangHai Transportation University Publish Inc, 1999.

[5] 章毓晋. 图像与计算机视觉[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
ZHANG Yujin. **Images and computer visions**[M]. Beijing: Tsing Hua University Press, 2000.

[6] K NIRANJAN PRASAD, B RAMAMOORTHY. Tool Wear Evaluation by Stereo Vision and Prediction by Artificial Neural Network[J]. **Journal of Materials Processing Technology**, 2001, **112**(6): 43−52.

[7] 张启灿, 苏显渝, 李 勇, 等. 高速旋转物体的频闪结构光三维面形测量系统[J]. 光电工程, 2004, **31**(8): 53−56.
ZHANG Qi-can, SU Xian-yu, LI Yong, et al. A Stroboscopic Structured Illumination System for Measuring 3-D Profile of a High-speed Rotating Object[J]. **Opt-Electronic Engineering**, 2004, **31**(8): 53−56.

（上接第 25 页）

WU J P. **Remote-sensing Survey for Regional Land Use/Land Covering**[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1999.

[3] 文志英. 分形几何的数学基础[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.
WEN Z Y. **Mathematical Foundations of Fractal Geometry**[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Education Publishing House, 2002.

[4] 肯尼思·法尔科内. 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, 1991.
FALCONER K. **Fractal Geometry Mathematical Foundations and Applications**[M]. ZENG W Q, LIU S Y. Shenyang; Northeastern University Press, 1991.

[5] 北京大学数学系. 高等代数（第二版）[M]. 北京: 高等教育出版社, 1978.
The department of mathematics Beijing university. **Higher Algebra** (version 2)[M]. Beijing: Higher Education Press, 1978.

[6] 张坤华, 王敬儒, 张启衡. 基于分形特征的图像边缘检测方法[J]. 光电工程, 2001, **28**(6): 52−55.
ZHANG K H, WANG J R, ZHANG Q H. Image Edge Detecting Method Based on Fractal Feature[J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2001, **28**(6): 52−55.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net