

# 皮亚诺扫描分形基图像编码与压缩\*

顾其钧 杨海浪

(南京大学数学系 南京 210008)

赵锐 赵宏 何隆华

(中国科学院南京地理与湖泊研究所 南京 210008)

1992年8月26日收稿

## 摘 要

本文描述用皮亚诺扫描结合分形基方法对图像信息进行压缩处理的技术。压缩比达到1/10, 重构图像具有很好的图像质量, 保持了原始图像的地理特征。我们以江苏省沿海地区的 NOAA 图像为例加以说明。

该方法不仅适用于遥感图像处理, 对生物医学、通讯工程、计算机科学、军事公安和艺术等都有广阔的应用前景。

**关键词** 分形 分形基 遥感图像 皮亚诺扫描

## 一、引 言

图像处理首先遇到的问题是非常大的数据量, 就目前最常用的 Landsat TM 而言, 一景图像含 5,700 行×6,920 列; 计 39,859,200 像元, 假如选取其常用的 6 个原始通道(除 TM6 外), 包含近 240 兆数据, 再加上建立的新通道以及分类、辨别等等中间过程, 数据量实在是太庞大了。

因此, 凡是从事图像处理, 就一定要考虑图像的数据压缩。目前对不同的应用目的和不同的图像内容有不同的压缩方法, 例如在地理遥感图像处理中, 游程编码、二叉树方法等都是行之有效的压缩方法。

近十多年来, 分形和混沌模型已在图像计算技术中作出许多创新。文献[1]综述了在这方面显著的新发展。基于分形和混沌模型, 计算机图形和计算机图像处理技术提出了一种统一新观点和发展趋势。

本文将介绍皮亚诺扫描结合分形基的图像编码方法, 这是一个低成本、高压缩比、高图像质量的编码方法。文章的第 2 段简单介绍分形概念, 第 3 段建立分形基编码模式, 第 4 段介绍皮亚诺扫描方法, 第 5 段为系统实现, 第 6 段为模拟结果, 最后为结论。

## 二、分形概念

过去, 数学已广泛涉及那些可用微积分进行研究的集类和函数类, 但对那些不够光滑

\* 国家自然科学基金资助项目。

和不够规则的集和函数却认为是“病态”，而不予理睬。然而，正是这些不规则集，比经典几何图形能更好地反映许多自然现象，对这方面研究越来越引起人们浓厚的兴趣。10 多年前，曼德尔勃罗特 (B. Mandelbrot) 首先提出了分形 (fractal) 概念，并用它作为研究不规则集的一般框架<sup>[2]</sup>。

目前，对于分形概念还没有形成完整定义。一般可理解为具有下述性质的集合  $F$ <sup>[3]</sup>：

- (1)  $F$  具有精细的结构，也即有任意小比例的细节。
- (2)  $F$  是如此的不规则，以至它的整体和局部都不能用传统的几何语言来描述。
- (3)  $F$  具有某种自相似的形式，这可能是近似或统计意义下的。
- (4) 在大多数令人感兴趣的情况下， $F$  能用非常简单的方法来产生，例如迭代法。
- (5) 通常的测度(如长度和面积等)已不能用来度量  $F$  的大小。

现在人们一般地用维数作为研究分形的工具。粗略地看，维数给出了一个集合充满空间程度的描述，这是一个集合不规则性的极好度量。常用的维数有盒维数、Bouligand 维数、相似维数和 Hansdorff 维数<sup>[3]</sup>。

研究结果表明<sup>[2]</sup>，很多自然景物具有明显的分形特征。例如海岸线的形状，云、雾、烟尘，星体分布，山脉轮廓，地层断面，地形起伏，河网水系以及某些植物的叶片等。分形模型的重要特征之一是对那些看来十分复杂的事物，大多数都可用含有少量参数的公式来描述。分形模型成为这一类图像信息压缩的重要而有效的手段。

### 三、分形基编码模式

分形基编码思想源于海岸线长度的测量。测量海岸线长度，通常是用一把适当长度  $y$  的“尺子”沿着海岸线的凹凸起伏一步一步地量算，则海岸线长度可用下式近似求得<sup>[2]</sup>：

$$L(y) = ay^{1-D} \tag{1}$$

这里  $D$  是海岸线的分形维数， $a$  是一常数。在我们所研究的图像编码试验中，海岸线则是由所考虑的图像每一像元之灰度值形成的线条。

具体做法大致是：从某一幅图像的边缘线开始，让尺子一端落在强度波形值(即灰度值)所形成线条的相应点上，然后让尺子完全落下，它的另一端只停在一个数据样本上，接着移动尺子到这个新位置，如此反复进行，直到整个图像被“覆盖”完毕。

设图像的强度波形如图 1 所示。

这里尺子长度是  $y$ ，图像强度值在  $x_i$  处是  $g_i$ 。尺子的一端是放在点  $(x_i, g_i)$ ，尺子的另一端与波形相交的最近点是

$(x_{i+1}, g_{i+1})$ 。那末由尺子一步跨越的投影距离则是  $t_i = x_{i+1} - x_i, 0 < t_i \leq y_0$ 。

在知道了  $t_i$  值时，在  $x_{i+1}$  处的强度值  $g_{i+1}$  可由下式计算出：

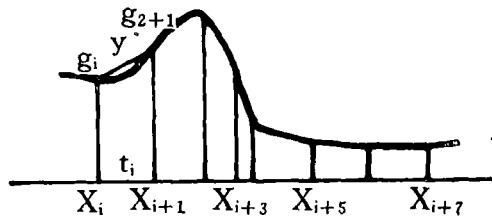


图 1 图像的强度波形

Fig. 1 Image intensity waveform

$$g_{i+1} = g_i + \text{sign}_i \times \sqrt{y^2 - z_i^2} \dots\dots\dots (2)$$

其中

$$\text{sign}_i = \begin{cases} 1, & \text{当 } g_{i+1} \geq g_i \\ -1, & \text{当 } g_{i+1} < g_i \end{cases}$$

符号位 sign 是对应波形的上升或下降。这样，整个编码过程就可以用  $z_i$  和  $\text{sign}_i$  来描述。我们通过这个过程构造了图像的一组编码，达到了信息压缩的目的，也仅仅借助这组信息就可以重构出原来图像波形的近似。

不难发现，在波形相对平坦的区域，如图 1 中  $x_{i+5}$  至  $x_{i+7}$  部分，一次量算尺子跨越较多像元，压缩效果甚佳；而在陡突边界，如  $x_{i+3}$  和  $x_{i+4}$  之间部分，将产生较大的量化误差，压缩效果不好，这种情况也许使用较短长度的尺子更适合些。

假设图像的分形维数是  $d$ ，由式(1)不难看出，整个量算过程需要  $fy^{-d}$  步，这里  $f$  是比例因子。因而压缩比的大小将由单一设计参数  $y$  来控制， $y$  值的减小将减低压缩比，而同时却改善了重构图像的质量。因此，实际上  $y$  值的大小将根据图幅的大小，分辨率要求，图像显示器的性能以及观察者和屏幕之间的距离等因素来决定。

### 四、皮亚诺扫描

由上段已经看到，分形基编码方法对于波形平坦区域是高效的，而当遇到波形严重起伏区域时效率就明显减低。为了增大压缩比且保持非常好的重构图像性能，我们采用皮亚诺扫描法。

1890 年意大利数学家 G. 皮亚诺在研究中发现了能够扫描到  $n$  维空间的曲线族<sup>[4]</sup>。这根曲线保持了被扫描数据空间的空间联系，就是说沿着由扫描形成的一维数据空间虽然有大的步移，但在空间联系上却只有少许移动。图 2 和图 3 分别是 2 维和 3 维皮亚诺曲线的一个例子。我们不妨在图 2 中从 A 点出发，按箭头指向沿皮亚诺曲线移动，就可以证实上面所述。

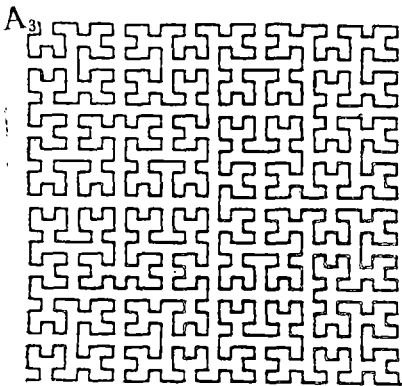


图 2 2 维皮亚诺扫描

Fig. 2 Two-dimensional Peano scan

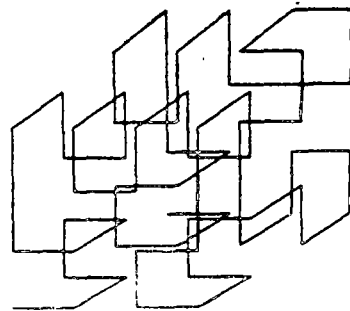


图 3 3 维皮亚诺扫描

Fig. 3 Three-dimension Peano scan

这种曲线是分形曲线,在  $n = 2$  时,分形维数  $d = 2$ 。

研究证实,沿着皮亚诺曲线扫描,具有下述特征:

- (1) 一条不断曲线通过数据空间的每一元素(本试验中为像元)只有一次。
- (2) 在曲线上靠近的点(像元)在空间也是靠近的。
- (3) 在空间上靠近的点(像元)在皮亚诺曲线上也可能是靠近的。
- (4) 曲线作为从本身到  $n$  维空间(或反之)的变换,通过扫描保持了一定的空间联系。

我们知道图像上除边界以外,每个像元与其邻近像元的灰度值是相差不大的。我们就是利用皮亚诺扫描的上述特征,改变图像原来按行或按列逐次扫描的方式为按皮亚诺方式扫描,这样由扫描所形成的强度波形在大部分区域将是十分平坦的,如图 4 所示。因而分形基编码的特点就能得到更好的发挥。



图 4 皮亚诺扫描后的波形  
fig. 4 Peano scanned waveform

## 五、系统实现

系统主要由三个模块组成:皮亚诺扫描器,分形基编码器和分形基译码器。系统输入原始图像信息,经过扫描、编码和译码,最后得到重构图像输出。系统结构框图如图 5 所示。

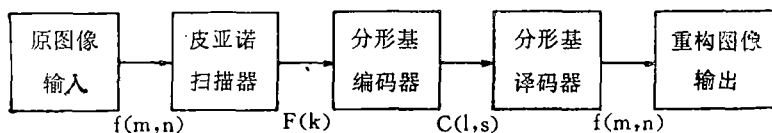


图 5 系统结构框图

Fig. 5 System block diagram

这个系统的一个重要特点是结构简单,无论硬件还是软件都是比较容易实现。

对分形基编码模块还需说明两点:

(1) 为了计算波形强度值,式(2)必须做乘法和开方运算,一般而言这是比较费机时的,硬件实现的成本亦很高。我们利用式(2)右端是  $t$  的减函数特征,设计了一个对照表来代替公式计算,这样只需加减运算,如比较运算就可以建立起编码表,从而大大提高了运算速度,降低了系统的复杂性。

(2) 在第三段中已经说到  $\gamma$  是压缩比的可控因子,为了提高系统的性能,我们提供了 2 个或多个  $\gamma$  值及其相对应的对照表供选择。这样可以根据当前强度波形的特征来选取较匹配的  $\gamma$ 。

国外资料报道,贝尔通讯研究中心已将此系统做成硬件付诸实用。我们用 C 语言建立了一个软件系统,大约 200 条语句,只要配有图像软件,在微机上就可以做图像处理。

## 六、模拟结果

模拟试验是采用 1991 年 7 月江苏省苏北沿海和长江口杭州湾北部区域的 NOAA 图像和江苏省无锡县范围的 Landsat TM 图像而进行的。

江苏省苏北沿海在旧地图上一直认为是五条沙平行地从西到东排列。1979 年以来不断收到 Landsat MSS 图像,依多时相的 MSS 图像,对照海平面潮位的升降,绘制了完整的苏北沿海沙洲分布。发现它不是五条平行沙,而是以弶港为中心是辐射沙洲,这可参阅“江苏省海岸带自然资源地图集”中的海岸带地势和辐射状沙脊群概貌。1991 年 7 月的 NOAA 图像能较好地反映这一地理特征(见图版 I 图 1)长江口崇明岛和杭州湾北部也各有特点。

NOAA 原图像经过皮亚诺扫描分形基编码,数据压缩到 0.8—1bit/pixel 即 10 倍左右。再将译码信息重构图像,(见图版 I 图 2),做与彩色图版 I 图 1 同样的假彩色合成,得到的图像基本上保持了苏北辐射沙洲的面貌,长江口与杭州湾北部亦能保持原有特征。在 386 微机上,一幅图像的编码解码过程大约花 1 分 40 秒的机时。

同样,无锡县范围 Landsat TM 图像经过处理,数据量压缩也大约十倍,仍能反映它的城镇、森林、农田和受洪涝灾害的情况。

当然,数据压缩不能无限制地进行,因为一般地数据压缩比同精度保证成反比,同时还取决于被反映的图像要素以及该要素的特点。

我们的试验大致分三个精度级别来进行。第一种要求图像重建时基本无误差,假彩色图像形态大致相同,分类图像不变,能完全反映地理特征。第二种要求重建图像误差约为 1% 至 3%,但必须保持分类图像不变。我们认为这种精度比较恰当,图版 I 图 2 是它的具体反映。第三种误差为 5%,信息压缩比增大,但分类图像可能出现少量误判,这一种要依分类要素的精度要求来选用。但是,无论是那一种精度要求,必须要保证重建图像基本上表达原图像的特征。

## 七、结 论

在这个工作中,我们讨论了用于图像压缩编码的皮亚诺扫描分形基方法,并且给出了系统实施框图。它可直接用于遥感图像信息压缩和图像分类。初步模拟结果表明:该算法概念上简明,具体实现方法复杂性较低,无论用硬件或软件来实施,成本都是很低的。另一方面,可达到 0.8—1bit/pixel 的高压缩比,且能保证高质量地重构图像,反映原有的地理特征,具有好的视觉效果。

本方法不仅适合于遥感信息处理,也是 ISDN 中的关键技术,它在生物医学,通讯工程,军事公安业务以及计算机科学中都将有广泛的应用前景。

## 参 考 文 献

- [1] B. F. Brammer, Unified image computing based on fractals and chaos model techniques, *Optical engineering*, Vol.28, No. 7, pp. 726—734, 1989.
- [2] B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, 1983.

- [3] K. J. Falconer, *Fractal Geometry, Mathematical Foundations and Applications*, Wiley, 1990.  
[4] R. J. Stevens et al., Manipulation and presentation of multidimensional image data using the Peano scan, *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell. PAMI-5(5)*, 520—526, 1983.

## IMAGE CODING & COMPRESSING WITH PEANO SCAN AND FRACTAL-BASED SCHEME

Gu Qijun Yang Hailang

(*Math. Dep., Nanjing University*)

Zhao Rui Zhao Hong He Longhua

(*Nanjing Inst. of Geography & Limnology, Academia Sinic*)

### Abstract

In this paper, we describe an image compression technique that incorporates Peano scan with a fractal-based coding scheme. 1/10 compression rate is achieved. The reconstructed image remains high picture quality and retains original geographic characteristics. We use NOAA image in Jiangsu coastal area as an example.

This scheme can not only be used in remote sensing image processing, but also has wide application prospect in medicine science, arts, communication, and computer science.

**Key words** fractal fractal based Remote Sensing image Peano scan

