

图象编码的分形基方法*

顾其钧 杨海浪

徐玉貌

(南京大学数学系, 南京 210008)

(南京大学大气科学系, 南京 210008)

提 要

文章介绍了一种用于图象编码压缩的皮亚诺扫描分形基方法. 该方法算法简明, 实现容易, 压缩比达到 1/10 以上, 重构图象保持原图象特征, 并具有好的视觉效果. 该方法不仅适用于各类航片、遥感图象处理, 对地学、生物、医学、军事公安业务以及通讯工程也均适用.

关键词: 图象编码; 分形; 皮亚诺扫描.

1 引 言

调查资料表明, 人类获取外界信息的绝大部分(约 70%)来自视觉系统所接受的图象信息. 因此, 图象信息加工处理技术的广泛应用是必然的趋势.

这些图象中, 如各种航片、遥感图片, 有相当部分是反映自然面貌、环境状态. 这类描述对象都具有分形特征. 因此, 用分形理论的方法去研究这些图象处理应该是恰当的. Brammer^[1]在图象计算技术中应用混沌和分形模型方面做了许多工作. 我们亦用分形方法开展了图象编码和图象合成等方面的研究. 本文主要介绍分形基图象编码方法. 该方法具有算法简明、实现容易、压缩比高、重建图象质量高等特点. 它与传统的图象编码方法相比是一大进步.

2 分形基编码方法

分形(fractal)概念是 Mandelbrot 首先提出的, 用来作为研究不规则集合的一般框架. 目前, 有关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 ^[2]:

(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 常具有某种自相似形式, 这可能是近

* 国家自然科学基金资助项目.

1993-06-14 收到, 1993-09-13 收到修改稿.

似的或统计意义下的;(4)在大多数情形下, 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,人们一般用许多形式的维数作为研究分形的工具.粗略地说,维数给出了一个集合充满空间程度的描述,它是一个集合不规则性的极好度量.常用的维数有计盒维数、相似维数、Bouligand 维数和 Hausdorff 维数^[2]。

分形基编码方法其思想源于海岸线长度的测量.海岸线是条分形曲线.测量海岸线长度的一种可用方法是:用一根长度为 y 的合适“尺子”沿着海岸线凹凸起伏一步步地量算,那么,海岸线长度可用下式近似

$$L(y) = ay^{1-d} \quad (1)$$

这里 d 是该海岸线的分形维数, a 是常数.将这个思想用于图象编码研究中,我们将二维图象按某种方式扫描,想象由每一象元的图象灰度值形成的“线条”具有海岸线的凹凸起伏特征。

在实际工作中,我们采用如下的处理步骤:从某幅图象的边缘线开始,让尺子一端落在象元灰度值所构成线条的相应点上,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,直到整个图象波形被全部“覆盖”为止.图1给出图象的强度波形。

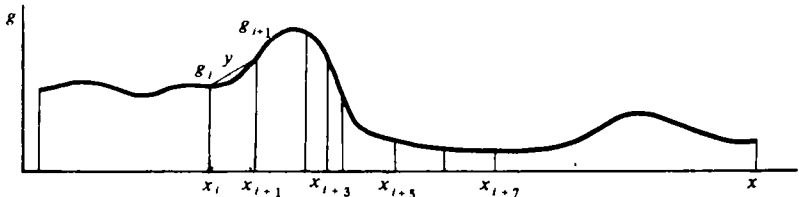


图1 图象强度波形示意图

Fig. 1 Schematic diagram for the waveform of image intensity

这里尺子长度是 y ,图象强度值在 x_i 处是 g_i ,尺子一端放在点 (x_i, g_i) ,尺子另一端与波形相交于 x_{i+1} ,想象中交点可能不唯一.我们算法则是选取沿着波形曲线与 (x_i, g_i) 最靠近的点,那么尺子跨越的投影距离则是

$$t_i = x_{i+1} - x_i, \quad 0 < t_i \leq y \quad (2)$$

这样,在 x_{i+1} 处波形强度值是 g_{i+1} ,则可由下式计算

$$g_{i+1} = g_i + \text{sign}_i \times \sqrt{y^2 - t_i^2} \quad (3)$$

其中

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

符号位 sign 反映了波形的上升或下降.那么,整个编码过程可以由值 t_i 和 sign_i 来描述.通过这个处理过程可得到图象的一组编码 (t_i, sign_i) .只要选取适当大小的 y ,就可以达到信息压缩的目的.也只借助这组信息就可重构出原图象强度波形曲线的近似,例如可用插值方法。

在一般图象保真度编码中,压缩比大小受到所要求的保真度限制.不难发现,按上述

处理方法, 在波形相对平坦区域, 如图 1 中 x_{i+5} 至 x_{i+7} 部分, 量尺一次跨越象元较多, 压缩比大; 而在陡突边界, 如 x_{i+3} 至 x_{i+4} 之间, 不但压缩比较小, 而且误差也大. 显然, 为了得到好的图象性能, 这些区段需另外处理, 基于原图象信息的细划分方法, 就可以作为一种处理方式.

在分形基编码中, 还有一个关键问题, 就是如何选取量尺 y 的大小. 假设图象的分形维数是 d , 由式(1) 不难看出, 整个测量过程需 ay^{-d} 步. 这样, 压缩比大小将由参数 y 来控制, y 值减小将降低压缩比, 而同时却改善了重构图象质量. 因此, 在实际工作中 y 值大小将根据图幅尺寸, 保真度要求, 图象显示器性能以及观察者和屏幕之间的距离等因素来决定.

下面, 我们给出压缩比的定量估计. 设 s 为原图象存贮所需比特数, b 为压缩后图象存贮所需比特数, 则定义压缩比 r 为

$$r = b/s \quad (4)$$

在我们的分形基编码中, b 最多为

$$b = ay^{-d}[1 + \log_2(1 + y)] \quad (5)$$

可以看出, 对同一幅图象, y 越大, 压缩比越大; 另一方面, 对相同的 y , 分形维数 d 越大, 图象越复杂, 则压缩比越小.

3 皮亚诺扫描

分形基编码方法对于波形平坦区段是高效的, 而当遇到波形严重起伏区段时, 效率就明显降低. 为了增大压缩比并使重构的图象仍有好的视觉效果, 我们将传统的逐行逐列扫描方法改为皮亚诺扫描.

1890 年意大利数学家 G·皮亚诺在研究中发现了能够扫掠到几维空间的曲线族. 图 2 和图 3 分别是 2 维和 3 维皮亚诺曲线族中的一个正交曲线例子. 这根曲线保持了被扫描数据空间的空间联系, 即沿着由扫描形成的一维数据空间, 虽然有较大的步移, 但在原来空间联系上却只有少许移动. 如在图 2 中, 我们从 A 点出发, 按箭头指向沿皮亚诺曲线移动, 就可证实这一点.

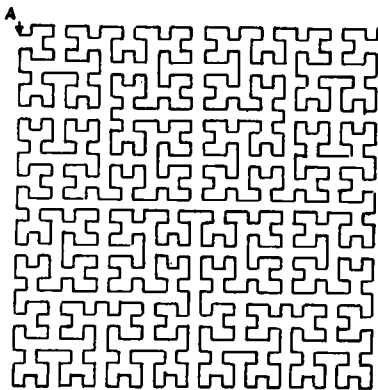


图 2 2 维皮亚诺扫描
Fig. 2 Two dimensional Peano scan

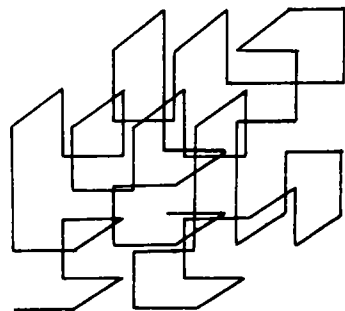


图 3 3 维皮亚诺扫描
Fig. 3 Three dimensional Peano scan

皮亚诺曲线族中的曲线都是分形曲线,在 $n=2$ 时,分形维数 $d=2$.研究表明,按皮亚诺曲线扫描,具有下述特征:(1)一条不断曲线通过数据空间的每一元素只有一次,也即建立了多维空间与一维曲线元素之间的一一对应;(2)在曲线上靠近的点(象元)在空间中也是靠近的;(3)在空间中靠近的点(象元)在皮亚诺曲线上也可能是靠近的;(4)曲线作为从自身到几维空间的变换(或反之),通过扫描保持了一定的空间联系.利用皮亚诺扫描的上述特征,我们改变原来逐行逐列扫描方式为按皮亚诺曲线扫描,使得由扫描形成的强度波形曲线在大部分区段上都比较平坦,如图4所示.因而,分形基编码的特点就能更好地发挥.

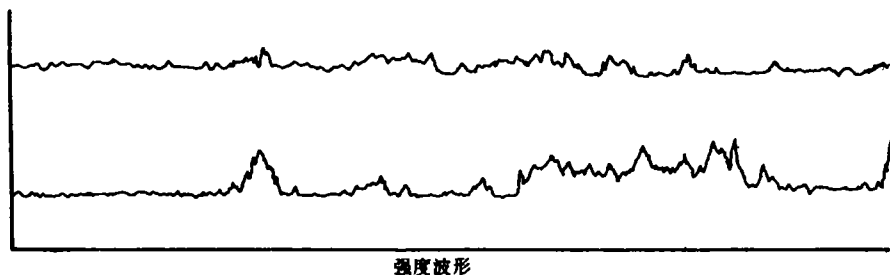


图4 皮亚诺扫描后的(截断)波形

Fig. 4 Waveform(truncation) after Peano scan

4 系统实施的有关问题

分形基编码法的原理简明,硬件实现技术要比变换编码、预测编码技术简单得多,且成本很低,由于我国的VLSI(very large scale integration)还不太成熟,目前我们是用软件系统来实现.

系统主要由三个模块组成:皮亚诺扫描模块、分形基编码模块和分形基译码模块.系统从数字化原图象信息输入开始,经过编码、译码,最后得到重构图象输出,结构框图如图5所示.该系统只要配备图象显示软件,就能在微机上进行处理工作.下面将对实现中的几个技术问题加以说明:(1)为了计算波形强度值,根据公式(2)运算需较多机时,因此我们设计了一个对照表来代替它,从而大大提高运算速度,降低了系统复杂性.而对照表要根据具体图象特征和保真度要求来确定.(2)为了提高系统性能,根据图象的统计特性,我们设计了两个 y 值以及相应的对照表.当反映图象局部特征的编码值小于阈值时,

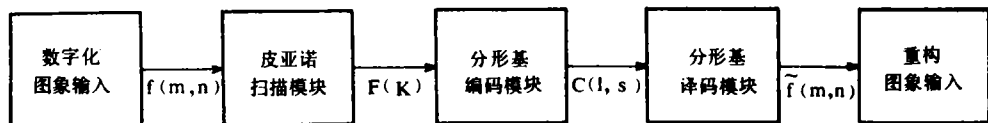


图5 系统框图

Fig. 5 Systematic block diagram

就选择较小的量尺 y ; 当编码值大于阈值时, 则选取较大的 y , 并与相应对照表进行下一步编码处理. 这样在整体上就可得到更好的编码效能和更佳的形象视觉效果. (3) 皮亚诺扫描可以用不同的算法来实现^[2], 考虑到图象中象元灰度值之间的相关性, 对于模拟例子中的图象, 我们是采用 16×16 皮亚诺基扫描块.

5 模拟结果分析

我们用 1991 年 7 月 17 日的卫星云图(红外云图)进行试验. 原图象和重构图象的合成图分别见图 6 和图 7. 由于图幅较大, 只取其 $1/4$ 部分, 以便进行细微结构的比较. 不难发现台风云系的螺旋结构及强度分布几乎相同, 即图象分类特征可以很好地保持. 压缩比达到 $1/10$, 平均相对误差在 $2\% \sim 3\%$ 之间. 这里相对误差是指具有某灰度值的恢复图象象元频数和原图象象元频数之差与原图象象元频数之比的百分数. 从原图象数字化信息输入, 经过编码、解码, 直到重构图象信息文件建成, 在 386 微机 on 大约花费时间一分四十秒. 我们还用雷达回波图象做类似处理, 压缩效果还要好些, 压缩比达到 $1/15$, 这可能由于图象背景占较大比例的缘故. 对于这种大尺度系统的卫星云图, 如果只要求重构图象, 保持天气变化趋势的特征不改变, 对保真度限制作适当放宽, 压缩比将会更大些.

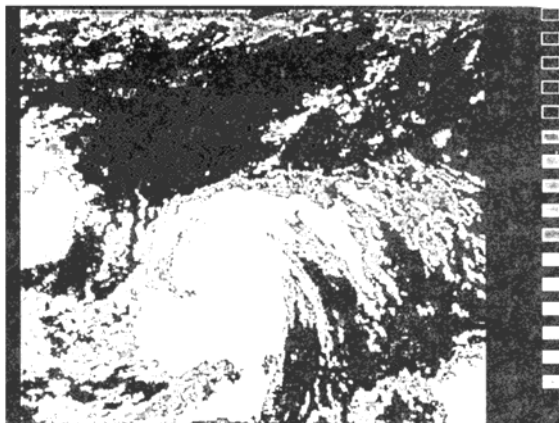


图 6 1991-07-17 红外云图原始图象

Fig. 6 Preliminary image of IR cloud map on 17 July, 1991

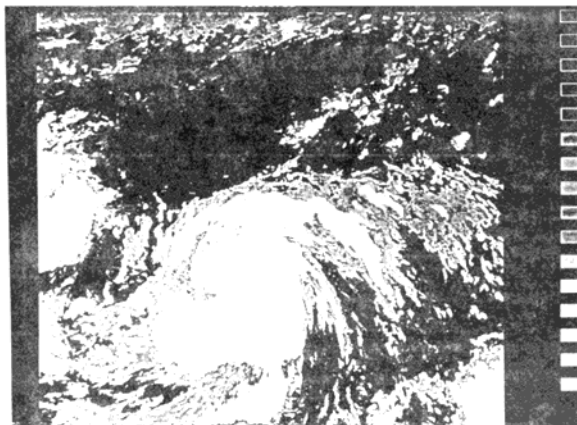


图7 1991-07-17 红外云图重构图象

Fig. 7 Reconstructed image of IR cloud map on 17 July, 1991

6 结 论

本文论述了用于图象编码的皮亚诺扫描分形基方法和原理,讨论了系统实施中的几个主要问题,并且就卫星云图和雷达回波图象模拟试验结果作了简要分析.初步结果表明:该方法最主要特征是概念简明,实现方法容易,复杂性低,成本小,同时能达到1/10或更高的压缩比,重构图象具有满意的视觉效果,保持分类特征不变.

我们将这个方法还用于资源卫星遥感图象处理,也得到类似结果.这些都表明该方法适用于相当广泛类型的图象处理,包括化学、医学、生物、军事公安业务以及通讯工程等众多领域.

参 考 文 献

- 1 Brammer B F. Unified image computing based on fractal and chaos model technique. *Optical Engineering*, 1989, 28 (7): 726~734.
- 2 Falconer K J. *Fractal geometry, mathematical foundation and applications*. Wiley, 1990.
- 3 Stevens R J, et al. Manipulation and presentation of multidimensional image data using the Peano scan. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1983, PAMI 5(5): 520~526.

FRACTAL BASED IMAGE CODING SCHEME

Gu Qijun Yang Hailang

(Mathematic Department, Nanjing University, Nanjing 210008)

Xu Yumao

(Meteorological Department, Nanjing University, Nanjing 210008)

Abstract

An image compression technique that incorporates Peano scan with a fractal-based coding scheme is described. The proposed approach is very simple and clear, and its implementation is easy, 1/10 compression rate is achieved. The reconstructed image retains original picture quality and has well psycho-visual effects.

This scheme not only can be used in aerial photograph and remote sensing image processing, but also has wide application prospects in earth science, biology, medicine, military affairs and communication.

Key words: Image coding; Fractal; Peano scan.