

分形图像编码的 IFS 方法及其发展

⑥
27-2858

沙济彰, 冯忠义, 曹 宁

(河海大学常州校区, 江苏 常州 213022)

P335.3

摘要:介绍一种新的图像压缩技术——分形图像编码技术, 阐述分形图像编码的基本概念; 介绍分形图像编码的 IFS 方法, 包括它的基本算法思想、编解码步骤、存在的优缺点及其改进方法, 指出了分形编码技术的特点和发展方向。

关键词:图像编码; 分形; 迭代函数系统(IFS)

中图分类号:TP335.3

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2000)04-0027-02

分形的概念来自于数学学科——分形几何学。众所周知, 经典几何学可处理规则曲线, 然而, 自然界景像多数皆由众多不规则曲线所组成, 如: 山河形状、海岸线等, 它们很难用数学方程所描述, 因而, 经典几何学对此无能为力, 从而诞生了分形几何学。分形的含义指: 系统的组成部分以某种方式与整体相似, 即指一类无规则, 混乱而复杂, 但其局部与整体具相似性的体系(称为自相似体系)。术语“分形”由曼德勃罗特(Benoit B. Mandelbrot)在 1973 年首先提出, 他于 1975 年出版专著《分形——形, 机遇和维数》, 标志着分形理论的诞生, 从而产生了一门新的学科——分形几何学。

分形几何学仅有很短的历史, 以致于迄今为止尚未有完善的定义, 但它在众多领域已得到广泛应用, 从而成为具有广泛应用前景的一门新兴学科。同样, 分形几何学也被应用于图像分割、分析、综合等图像处理方面, Barnsley 1988 年首次提出了利用分形技术进行图像压缩的方法^[1,2], 他的学生 A. Jacquin 第一个提出了一种自动分形图像压缩方法^[3,4], 此后出现了各种类型的分形图像压缩方法。

1 分形编码的基本概念

分形图像压缩是利用图像的自相似性来进行压缩的一种方法。自相似性(self-similarity)是指: 无论几何尺度怎样变化, 景物中任何一小部分的形状都与较大部分的形状相似。从压缩观点来看, 这种自相似性就是一种信息冗余, 因而可用于图像压缩。这种方法是在不同的比例上发现自相似部分, 去除重复描述, 它对图像进行系统分析, 然后提取出一套代码

(这种代码可用来精确地重建图像)来进行存储和传输, 从而获得压缩。

分形图像压缩方法大体可分为两类, 一类是分形模型图像压缩编码, 即预先对某一类景物建立分形模型, 编码时则根据具体景物提取相应的分形参数, 再编码传送, 来实现压缩; 另一类是迭代函数系统(iterated function systems)分形图像压缩编码, 即利用迭代得到原始图像的一个分形近似, 后一类方法易于实现, 应用较为广泛, 本文将予介绍。

2 分形图像编码的 IFS 方法

分形图像编码的 IFS 方法, 即基于迭代函数系统的分形图像编码, 是目前最常用的编码方法之一, 它的基本框图见图 1。

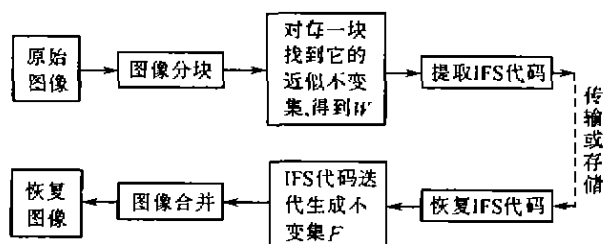


图 1 IFS 方法的基本框图

2.1 基本算法思想

分形图像编码的核心是: 根据拼贴定理, 在目标图像与原始图像之间寻找构成 IFS 的一组压缩映射, 即所谓的 IFS 逆问题。由于图像中存在着自相似性, 因而我们总可以找到一组变换, 由这组变换所生成的分形图像(目标图像)与原始图像足够接近, 于是这组变换就可作为原始图像的一种近似表示。在

实际图像中,这种自相似性通常仅存在于局部与局部之间,因而在实际处理中又可采用 PIFS(partial iterated function systems,即局部 IFS)方法.通常把原始图像划分为不重叠的块,称为 R 块(range 分区);又把原始图像划分为较大的可以重叠的块,称为 D 块(domain 分区).变换 w_i 定义为如下形式的特殊仿射变换:

$$w_i \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i & b_i & 0 \\ c_i & d_i & 0 \\ 0 & 0 & s_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \\ o_i \end{bmatrix}$$

式中: x, y 为像素坐标; z 为像素 (x, y) 的灰度; s_i 为控制图像对比度的参数; o_i 为控制图像亮度的参数.图像编码的过程,就是寻找一组最佳变换,并把变换参数存放在文件里.由于分形变换参数仅需很少的数据量来记录,这就意味着:分形图像编码可以获得很好的压缩效果.解码时,在一幅任意灰度图像的基础上,利用这些变换参数,经过几次迭代,就可大致重建原始图像.

2.2 基本编码过程

a. 图像分割.理论上,图像分割时首先将原始图像 X 预分割为若干个分形子图 $X^{(m)}$ ($m = 1, \dots, M$),使每一子图 $X^{(m)}$ 均具有一定的分形结构,且局部与整体之间存在着某种自相似特性.这种做法实现起来较难,因而通常的做法是:首先将图像划分为互不重叠的任意大小形状的 R 块(一般取 $16 \times 16, 8 \times 8, 4 \times 4$ 等尺寸的方块),所有 R 块拼装起来恰为原图.然后再划定一些可以互相重叠的 D 块,它们的拼合无须覆盖原始图像.所有 D 块的尺寸均为 R 块的 2 倍,以保证压缩映射.为了扩大 D 块范围,可以对 D 块做 8 种仿射变换,即恒等变换、关于 y 轴的对称变换、关于 x 轴的对称变换、 90° 旋转、 180° 旋转、 270° 旋转、关于 $y = x$ 的对称变换、关于 $y = -x$ 的对称变换.

b. IFS 代码提取.对每个 R 块,寻找匹配的 D 块,并提取相应的变换参数.具体说来:对每个 R 块按一定的判断准则对 D 块集合进行匹配搜索,找到与 R 块最逼近(误差最小)的 D 块作为该 R 块的匹配,并记录此 D 块的位置及其相应的变换参数.重复进行下去,直到对所有的 R 块都找到对应的 D 块,并得到相应的位置及变换参数为止.这些参数的集合就构成了 IFS 代码.

c. 对 IFS 代码进行编码.上述方法所得的 IFS 代码皆为变换参数,还需对之进行编码.为保证解码时能正确恢复这些参数,必须采用无失真的熵编码,如:哈夫曼编码,算术编码,游程编码等.

2.3 基本解码过程

分形编码的解码过程相当简单,具体过程如下:①译码恢复 IFS 代码;②由 IFS 代码构造原子图 X 块的重构子图 Y 块,对于给定的 X 块,由相应的 IFS 代码构成仿射变换,然后用随机迭代法获得对应的重构子图 Y 块;③把重构子图 Y 块合并,即可恢复原始图像,恢复时,采用与原先分割方式相应的重构方式.

2.4 优、缺点和改进措施

a. 优点是高压缩率. IFS 通过存储变换参数的编码来实现压缩,因而其压缩率非常高.例如,若将图像分割为 M 块,每块用 8 个参数记录,每个参数的编码长度为 N ,则其存储量为 $8MN$ 位,显然比存储像素所占的存储空间要少得多.倘若一幅图像只需一个仿射变换即可,则只需存储 $8N$!

b. 缺点是编码时间过长,恢复图像质量欠佳.提取 IFS 代码时,对应每个 R 块,均需对 D 块集合做一次匹配搜索,进行相应的仿射变换,并计算匹配误差,因而运算量极大,时间冗长.这就限制了它的发展和应用,必须进行改进.

c. 改进措施:①改进分割方法.大多数图像中既有光滑块,也有纹理块、边缘块.若保持 R 块的大小固定不变,显然不合理.因此应采用不固定的分割方法,如四叉树剖分法、矩形剖分法、三角剖分法等.分割时,可采用递归方式,即先对大 R 块进行匹配,若误差太大,再逐步细分,如此进行下去,直到找到最合适的 D 块或达到最小的规定尺寸为止.②提高速度.为了提高速度,可以先对图像进行预处理(如线性插值或区域分类),然后再进行分形编码.此外,还可以采用限定搜索范围、选取合适的误差门限等方法来提高速度.③其他方法,例如,有些学者提出,利用矢量量化编码的思想,建立典型码本,用这些码本对 D 块和 R 块进行分类,从而只在同一类中进行比较,藉此提高速度和保证图像质量.还有些学者提出利用正交基的概念来进行 IFS 编码.

3 分形编码技术的特点和发展方向

综上所述,分形编码有几个显著的特点:①压缩比高(比经典编码高出两个数量级);②恢复图像(目标图像)质量与分辨率无关,也与原始图像无关;③非对称性,即压缩编码计算量大,时间长,但解压缩简单,速度快.它的局限性也很显然:①压缩速度太慢,难以实时压缩;②压缩比依赖于原始图像,并与失真度有关.从理论上讲,拼贴定理保证了对于任意的原始图像 X (紧集)均存在 IFS,使得其目标图像可无限地逼近原始图像 X .但一般地(下转第 58 页)

标文件和最终确定土地价格,起草有关征地法律框架文件,土地调整,提供地籍图纸;②地籍管理科,负责资产交换,统计征地过程中价格变化情况,土地登记造册,土地出租,不动产产权转换与移交;收回征用后的土地,出售 DSi 的不动产;③调查评估科,负责土地估价,临时用地损失调查,对需政府帮助的移民进行调查评估;④项目规划监测科,负责移民监测,移民恢复重建,征地与移民对环境影响分析,统计数据收集,处理移民过程中的问题。

3 值得借鉴的经验

土耳其与中国一样,属于发展中国家,近 15 年发展较快,土耳其现已成为欧盟和北约的成员国,社会经济发达程度已远高于中国,人均国内生产总值已超过 2400 美元。

在水利水电工程建设方面,中国与土耳其有许多相似之处,土耳其有丰富的国土资源和水资源,水力发电占整个能源供给的 37%,已灌溉面积达 400 万 hm^2 ,占可灌溉面积(850 万 hm^2)的 45%。水利资源已利用部分占总蕴藏量的 15%。土耳其政府十分重视水利水电工程建设和水工程引起的移民与重建问题。

通过对土耳其水库征地与移民重建的分析,结合我国的实际情况,有下述几方面的经验值得借鉴:

a. 土耳其政府对水库移民工作非常重视,制定

了《征地法》与《移民法》,从法律上明确了征地、移民工作的机构、程序、内容、方式、步骤等,且具有实际可操作性。建议开展土耳其有关征地、移民的法规与我国相关法规的对比研究。

b. 土耳其将征地、移民工作分开的思路与做法很值得研究和借鉴。在土耳其,水利水电工程征地由业主(DSi)负责,采用项目出资完全赔偿的办法(而不是我国“前期补偿补助,后期扶持”的办法),赔偿价格既不完全是市场价,又经过了独立于征地方与被征地方的充分合理公正的评估,且征地有关各方均可通过法律诉讼对赔偿进行质疑。移民在得到合理赔偿后,在经济利益机制驱动下,即可选择由政府安置,也可选择自我安置的方式。由国家安置的移民费用不足部分由国家提供 25 年期(含 5 年宽限期)的无息贷款解决,国家承担部分列入政府社会发展计划及预算,具体工作由乡村事务委员会承担。

c. 土耳其在移民重建过程中,对安置村进行了比较全面的规划,基础设施建设配套。其优先利用国有土地安置移民、各有关行业(教育、卫生、农业、社会、金融等)共同支援等许多移民工作的政策与做法值得研究借鉴。

d. 土耳其政府特别重视水利水电建设,DSi 在政府中也具有很重要的地位与作用,这从 DSi 预算占国家财政预算 3.5% 及投资预算的 28.4% 中可见一斑。

(收稿日期:1999-03-01 编辑:马敏峰)

(上接第 28 页)

讲,对于任意误差 $\epsilon > 0$,拼贴定理中的分块数 N 是一个与 ϵ 有关的自然数。随着 ϵ 减小, N 增加,必然导致压缩比下降。因此,难以期望在保证失真度很低的条件下,分形编码对于一切图像都具有普遍适用的高压缩比,从而只能在压缩比和失真度之间加以均衡。目前分形压缩技术的发展方向主要在两个方面:一是从纯粹改进基本算法入手,例如在图像分割,减少计算量,加速匹配过程等方面对基本算法加以改进;另一是把分形压缩技术与其他压缩技术结合起来。当前比较成功的方法是将小波变换与分形编码方法相结合,能取得很高的压缩比和较好的图像质量。

由于分形编码的本质特点,它尤其适用于对压缩时间不敏感,但对解压时间有高要求的场合,例如高质图像的多媒体查询。因此该方法自 80 年代末提出至今,虽然历经时间尚短,却已取得了引人注目的成绩。例如全球最大的软件公司 Microsoft 公司,采用分形压缩技术于 1992 年推出了多媒体百科全书 En-

catra。它在不到 600 MB 的光盘上存储了 200 万字的文本信息,7 h 声音信息,100 个动画作品,800 幅彩色地图,以及 7000 幅高质量照片,其效果确实令人惊讶。

参考文献:

- [1] Barnsley M F. Fractals everywhere[M]. Academic Press, 1988.
- [2] Barnsley M F, Hurd L. Fractal image compression[M]. AK Peters, Wellesley, 1993.
- [3] Jacquin A E. Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations[J]. IEEE Trans. On Image Processing January, 1992, 1(1): 18 ~ 30.
- [4] Jacquin A E. Fractal image coding: a review[J]. Proceedings of the IEEE, 1993, 81(10): 1451 ~ 1465.

(收稿日期:1999-03-15 编辑:张志琴)

