

# 多波段遥感图像的快速分形编码

倪林

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系,安徽合肥 230026)

**摘要:** 分形图像编码用动态迭代过程的参数来表示相应的静态图像数据,可以突破熵压缩编码的理论界限,因而得到广泛的关注.将分形图像编码应用于多波段遥感图像压缩中,根据多波段遥感图像的特点,对基于二叉树分割的快速分形编码方法进行改进,令各个波段图像共享同一二叉树分割方式,同时,利用多波段遥感图像的谱间相关性,缩小仿射变换的搜索匹配空间,以此来提高压缩比和编码速度,实验表明,本方法能显著提高基于二叉树分割的分形编码方法的性能,取得了令人满意的结果.

**关键词:** 多波段遥感图像;分形图像编码;共享二叉树分割;监督匹配

**中图分类号:** TN919.81 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2002)07-1079-04

## Fast Fractal Coding of Multispectral Remote Sensing Images

NILin

(Dept. of Electronic Engineering and Information Science, USTC, Hefei, Anhui 200026, China)

**Abstract:** Fractal image coding which can employ parameters of the dynamic processes of iteration to represent the static image data and break through the theoretical bound of entropy coding has now received wide attention. In this paper, the fractal image coding is employed to compress the multispectral remote sensing images. Making use of the properties of the multispectral remote sensing images, some improvements are made to the fast fractal image coding method based on the quadtree partitioning. The compression ratio and the coding speed were both improved by sharing the same quadtree partitioning of the range blocks with other different image bands and, in the same time, reducing the size of the searching and matching space of the affine transform by utilizing the spectral correlation of the multispectral remote sensing images. The experimental results show that the performance of the fast fractal coding method based on quadtree partitioning was significantly improved by incorporating our scheme. Satisfactory experimental results are obtained.

**Key words:** multispectral remote sensing image; fractal image coding; sharing quadtree; partitioning; supervised matching

## 1 引言

去除图像数据表示中的相关性(Correlation)是图像编码中的重要环节,去相关的效果直接影响压缩比.在传统的图像编码方法中,多数情况下去除的是基于图像平稳性假设的空域局部相关,如DPCM,分块DCT等,另外,较多考虑去除统计相关,如变换编码,包括DCT,小波变换和Karhunen-Loeve变换等,而较少考虑去除结构相关,最后,大多考虑去除同一尺度下的图像数据的相关性,如矢量量化,而较少考虑去除不同尺度下的图像数据的相关性.分形编码方法突破了上述传统编码方法的局限,利用图像内容的自相似性,充分发掘图像数据表示中的冗余度(Redundancy),通过去除这种冗余或相关,获得比传统编码方法更好的编码性能.

多波段遥感图像压缩也是近几年才开始研究<sup>[1]</sup>,近无损压缩比一般在5:1左右<sup>[2,3]</sup>,无损压缩比在2:1左右<sup>[4~7]</sup>,难以满足当今遥感技术飞速发展的要求,为了进一步提高压缩比,本文将分形编码应用到多波段遥感图像压缩中,根据多波

段遥感图像的特点,令各个波段图像共用一个二叉树分割,此外,还假定各个波段图像同一空间位置处的值域块(Range Block)所对应的定义域块(Domain Block)分布在各个波段图像在同一空间位置处,并使用相同的对折和旋转变换,而使用不同的灰度变换,从而,减小仿射变换的搜索匹配空间.通过上述改进,一方面减小压缩数据量,同时,大大提高编码速度.实验表明改进的分形编码方法,表现出更好的性能.

## 2 基于二叉树分割的快速分形编码

分形图像编码的概念由美国数学家M. F. Barnsley于1987年首次提出<sup>[8]</sup>,不久,他将迭代函数系统(IFS, Iterated Function Systems)用于图像编码中<sup>[9]</sup>,取得了很好的效果,但该方法的实用性较差.1990年A. E. Jacquin提出分形块编码方法<sup>[10]</sup>,它给分形图像编码研究带来质的飞跃,从此,分形编码成为图像编码领域研究者们关注的一个热点.

### 2.1 影响分形图像编码性能的一些因素

目前,被研究者们广泛关注的分形图像编码的主要性能

有编码时间、压缩比和解码图像质量,影响上述性能的因素有多种,下面只考虑和本文相关的两种因素。

(1) 值域块的大小。当值域块选得较小时,值域块和定义域块的匹配误差会较小,此时解码图像的质量较好,但由于要记录较多的迭代参数,因此,压缩比也就随之下降,并且,由于值域块个数增多,从而增加了匹配次数,使编码速度变慢。当值域块分得较大时,会有相反的结果。

(2) 定义域块空间和仿射变换空间的乘积空间  $D \times T$  的大小。 $D$  较大时,也即定义域块在原始图像中分布较密时,和每个值域块相匹配的候选定义域块增多,有可能获得更小的匹配误差,解码图像的质量会相应提高,但由于匹配次数增加,编码速度显著变慢;同样,变换空间变大,有可能获得更准确的匹配,解码图像质量提高,但编码时间显著增加,并且由于要记录更多的变换参数,压缩比会下降。可见,当  $D \times T$  较大时会带来较好的解码图像质量,但编码速度显著下降,压缩比也有所下降。 $D \times T$  较小时,会出现相反的结果。

## 2.2 基于四叉树分割的快速分形图像编码

基于四叉树分割的快速分形图像编码方法,由 Y. Fisher 提出<sup>[11]</sup>,是对 Jacquin 方法作出两点比较明显的改进,首先在图像分割时采用自适应的四叉树分割方式,采用变尺寸的值域块,能够自适应于图像内容;其次,对定义域块进行两级分类,通过二级分类,将图像块共分为 72 类。在编码过程中,每个值域块的搜索匹配只需在一个子类中进行,假设定义域块在 72 类中均匀分布,则搜索匹配速度将比未分类时提高近 72 倍,大大加快了编码速度。

## 3 多波段遥感图像的快速分形编码

### 3.1 多波段遥感图像的特点

在多波段遥感图像的压缩中,要考虑去除两类相关性——空间相关和谱间相关。由于遥感图像的每个像素覆盖较大的地域范围,因此,遥感图像在传统意义上的空间相关性一般较小,用传统方法去除空间相关性的效果也就不够理想。另外,多波段遥感图像的谱间相关性又可分为灰度相关和结构相关。考虑多波段遥感图像的上述特点,我们将 Y. Fisher 的四叉树分割快速分形图像编码方法应用于多波段图像压缩中,并作出相应的改进,以进一步提高压缩比和编码速度。

### 3.2 改进的四叉树快速分形编码方法

四叉树分割过程就是值域块和定义域块的匹配过程,最后通过比较匹配误差和给定阈值来决定是否继续分割,这是一个相当耗时的过程,直接影响编码速度,另外,记录一个图像的四叉树分割方式也需要消耗一定的存储量。因此,根据多波段遥感图像的特点,我们提出一种共享四叉树分割(SQP, Sharing Quadtree Partition)的快速分形编码方法。其基本思想是利用多波段遥感图像的谱间结构相关性,我们推断,多波段遥感图像各波段图像对应区域的四叉树分割方式应基本相同,这一结论也得到了实验验证,实验采用 1991 年 6 月 24 日里斯本泰吉河流域的 SPOT 遥感图像,尺寸为  $256 \times 256$ ,共 6 个波段,像素灰度级为 256(8bits),图 1(a)、(b) 是其中亮度相差最大(人眼判断)的第 2 波段和第 5 波段,图中分别有 600 多个图像块(分割阈值为 10.0),二者对应位置处具有不同分割方

式的图像块有 25 个左右,只占图像块总数的 4.17%,实验还表明其它波段间的四叉树分割方式的差别更小,另外,据实验观察,随着匹配误差阈值的减小( $Tol = 2.0$ ),各个波段图像的分割方式越来越接近,如图 1(c)、(d) 所示,图中约有 3000 多个像块,不同分割方式的像块数远小于总像块数的 1%。可见,各个波段使用同一四叉树分割方式是可行的。

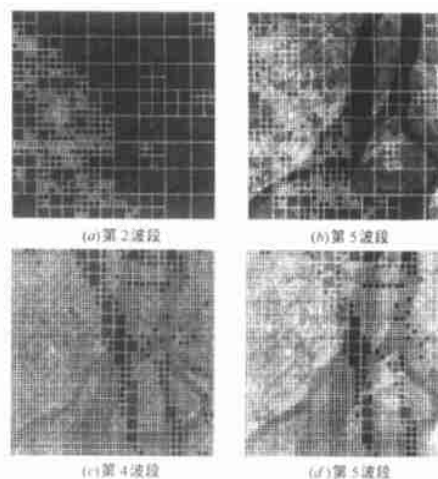


图 1 不同波段图像具有相似的四叉树分割方式

通过采用 SQP,一方面可以减少存储表示四叉树的比特数,对于  $256 \times 256$  的图像,设采用 4 级分解,若尺寸最大的图像块为  $32 \times 32$ ,最小的块为  $4 \times 4$ ,则对于 6 波段的遥感图像来说,采用 SQP,最多可节省  $5 \times (8 \times 8 + 16 \times 16 + 32 \times 32 + 64 \times 64) = 27200\text{bit}$ ;另一方面,也是 SQP 的效果最明显之处,共享四叉树分割可以大大减少编码时间,实验也表明,采用 SQP 可以将编码速度提高近三分之一。

如前所述,不同波段图像对应区域的灰度具有相近的变化特性,这是多波段遥感图像谱间的结构和灰度相关性的必然体现,这一特点是否可以应用到分形编码的匹配变换过程中,以进一步提高分形编码算法的性能呢?基于这一设想,我们利用多波段遥感图像的谱间相关性,进一步提出一种监督匹配(SM, Supervised Matching)算法。设  $R_1 \sim R_6$  分别是 6 个波段图像同一空间位置处的值域块, $D_1 \sim D_6$  分别是 6 个波段图像同一空间位置处的定义域块,则  $R_i$  在之间具有相近的灰度变化特性,同样在  $D_i$  之间也具有相近的灰度变化特性。在此,我们参考 Jacquin 的方法<sup>[10]</sup>,将图像块分为边缘块和非边缘块,若  $R_1$  是非边缘块,则可以认为  $R_2 \sim R_6$  也是非边缘块。在图像块的匹配过程中,一旦非边缘块  $R_1$  通过变换  $G_1$  与  $D_1$  匹配,则可利用这一匹配信息,指导或监督非边缘块  $R_2 \sim R_6$  的变换和匹配,即在  $R_1$  匹配信息的指导下, $R_2 \sim R_6$  分别只需要和  $D_2 \sim D_6$  进行匹配,而且在匹配前采用相同的几何变换和相同的恒等、旋转、对折变换,而采用不同的灰度变换  $G_i$ 。

SM 方法的合理性体现在非边缘块  $R_i$  之间和  $D_i$  之间基本上具有相同的灰度变化特性,因而可采用相同的恒等、旋转、对折变换,而它们之间的灰度差别,可以通过采用逼近

能力更强的  $G_i$  来进行补偿,在此,我们综合考虑运算复杂度、压缩比和灰度逼近能力,将  $G_i$  选为灰度值的二次函数

$$G_i(\bar{z}) = t_i \bar{z}^2 + s_i \bar{z} + g_i$$

其中,  $\bar{z}$  为定义域块经过变换后某个像素的灰度值,二次函数灰度变换的具体实现方法可参见文[13].

实现 SM 算法时,可通过图像块分类时得到的两个特征  $a_i$  和  $b_i$  的数值来判断当前值域块是边缘块还是非边缘块,当  $\max_{i,j}(|a_i - a_j|) < T_1$   $i, j = 0, 1, 2, 3, i - j = 1, 2, 3$ , 并且  $\max_i(b_i) < T_2$   $i = 0, 1, 2, 3$  时,认为当前值域块是非边缘块,并认为其它波段同一位置处的值域块也是非边缘块. SQP + SM 算法如图 2 所示.

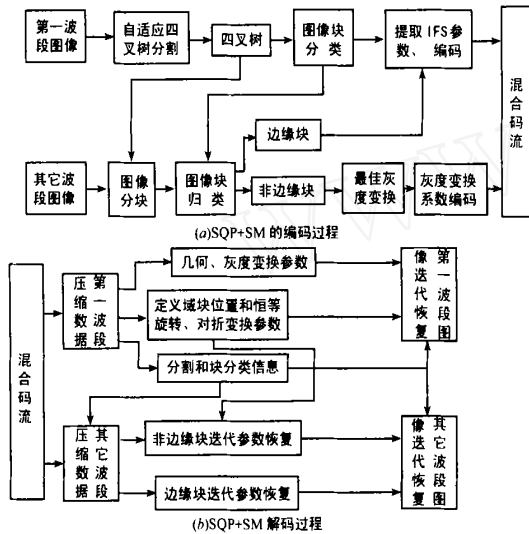


图 2 SQP + SM 的编、解码系统框图

### 4 实验及结果

实验在 PII—266 上进行,实验数据采用前述 6 波段 SPOT 图像,对基于 SQP 和 SM 的近无损和无损压缩方法进行研究.

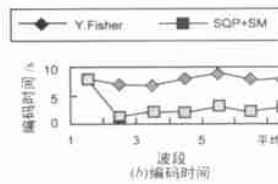
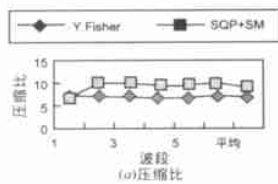


图 5 图像质量相当的情况下, SQP + SM 方法与 Y. Fisher 方法的压缩比和编码时间的比较

### 4.2 多波段遥感图像的无损压缩

首先采用上述近无损压缩方法进行编码,再采用 Huffman 编码对其中的误差图像进行熵编码. 其中的 SQP + SM 的参数和前述方法基本一致,只是匹配误差阈值  $Tol = 1.0$ . 要注意的是编、解码过程中的解码迭代次数一定要保持一致,实验中的迭代次数为 10. 图 7 是在无损压缩中, SQP + SM 和 Y. Fisher 方法在压缩比和编码时间上的比较.

首先考虑迭代次数对解码图像质量的影响,我们选用平均亮度最高的第 5 波段数据,图 3 显示了迭代重建过程,图 4 是峰值信噪比和迭代次数的关系. 可见当迭代次数超过 10 时,峰值信噪比基本没有明显增加,因此,实验中解码迭代次数选定为 15.

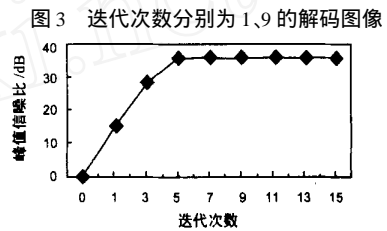


图 4 信噪比和迭代次数的关系

### 4.1 多波段遥感图像的近无损压缩

在近无损压缩中,由第一波段图像来决定二叉树分割方式和 SM 中的非边缘值域块与相应定义域块的对应关系. 图像首先作 4 级分割,最小值域块为  $4 \times 4$ ,最大值域块为  $32 \times 32$ ,定义域块在水平和垂直方向都有一半交叠,匹配误差阈值  $Tol = 2.0$ . 实验表明, SQP 和 SM 的压缩量分别获得近 0.04bpp 和 0.30bpp 的收益,而编码速度有明显提高,信噪比下降平均不到 0.3dB. 图 5 是 SQP + SM 方法与 Y. Fisher 方法在信噪比相差不大的情况下,在压缩比、编码时间上的比较.

通过重新设置参数还可将编码速度和压缩比的收益转换为图像质量的提高. 图 6 是压缩比相当的情况下, SQP + SM 方法和 Y. Fisher 方法的信噪比的比较.

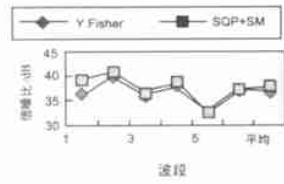


图 6 压缩比相当情况下, SQP + SM 方法和 Y. Fisher 方法的信噪比的比较

### 4.3 与其它编码方法的比较

将 SQP + SM 的近无损压缩方法和 JPEG 压缩方法进行比较,对于实验采用的 SPOT 图像,选择 JPEG 的图像质量等级不低于 75 (0—100),得到图 8 的结果,可见,在压缩倍数相当的情况下, SQP + SM 比 JPEG 具有更好的图像质量,这一方面是由于分形编码有效地去除了空间相关性,另一方面, SQP + SM 能很好地去除谱间相关性,而 JPEG 则没有考虑谱间去相关.

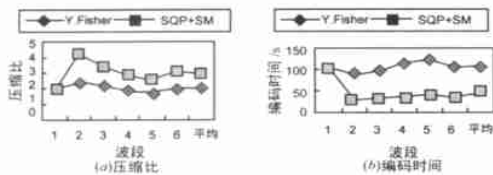


图7 无损压缩时,SQP+SM与Y.Fisher方法的压缩比和编码时间的比较

图8 压缩比相当情况下,SQP+SM和JPEG的信噪比的比较

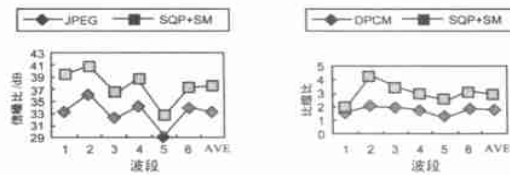


图9 SQP+SM和DPCM的无损压缩比的比较

在无损压缩中,我们将SQP+SM和空间DPCM方法进行比较,DPCM采用常用的4邻域预测,对预测误差进行Huffman编码,图9是压缩比的比较,可见SQP+SM明显优于DPCM方法。

## 5 结论

分形图像编码能突破传统的图像去冗余方法的局限性,可有效地去除图像数据间的多种相关性,我们将Y.Fish的快速分形图像编码方法应用于多波段遥感图像的压缩中,并根据多波段遥感图像的特点,作出两点改进,首先,提出共享二叉树分割的SQP方法。其次,进一步提出了监督匹配的SM方法。SQP+SM有效地利用了多波段遥感图像的特点,其编码性能比Y.Fish方法的性能有了明显提高,在多波段遥感图像压缩中取得了令人满意的结果。

## 参考文献:

- [1] K Sayood. Data compression in remote sensing application [J]. IEEE Geosci. Remote Sensing Newsletter, 1992, 84(2): 7 - 15.
- [2] J A Saghri, A G Tescher. Near-lossless bandwidth compression for radiometric data [J]. Optical Engineering, 1991, 30(7): 934 - 939.
- [3] J A Saghri, A G Tescher, J T Reagan. Practical transform coding of multispectral imagery [J]. IEEE Signal Processing Mag., 1995, 12(1): 32 - 43.
- [4] N D Memon, K Sayood, S S Nagliras. Lossless compression of multispectral image data [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1994, 32(2): 282 - 289.
- [5] J F Wang, K Zhang, S Tang. Spectral and spatial decorrelation of landsat-TM data for lossless compression [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1995, 33(5): 1277 - 1285.

- [6] R E Roger, F Arnold. Reversible image compression bounded by noise [J]. IEEE Trans. Geo. Remote Sensing, 1994, 32(1): 19 - 24.
- [7] Z Arnavut, S Narumalani. Application of permutation to lossless compression of multispectral thematic mapper image [J]. Optical Engineering, 1996, 35(12): 3342 - 3448.
- [8] M F Barnsley. Chaotic Compression [M]. UK: Computer Graphics World, 1987.
- [9] M F Barnsley, A D Sloan. A better way to compress images [J]. BYTE, 1988, 31(3): 215 - 223.
- [10] A E Jacquin. A Novel Fractal Block-Coding Technique for Digital Images [A]. Proc. ICASSP [C]. USA: ICASSP, 1990. 2225 - 2228.
- [11] Y Fisher. Fractal Image Compression: Theory and Application [M]. New York: Springer-Verlag, 1995.
- [12] A K Rao, S Bhargava. Multispectral data compression using bidirectional interband prediction [J]. IEEE Trans. Geo. Remote Sensing, Mar. 1996, 34(2): 16 - 20.
- [13] 赵耀,袁保宗.一种基于新仿射变换的分形序列图像编码方法[J].电子学报,1997,25(7):28 - 31.

## 作者简介:



倪林男,1967年出生于安徽省舒城市,中国科技大学电子工程与信息科学系副教授,目前感兴趣的研究领域有小波变换,遥感图像处理,图像压缩,模式识别,数据融合等,发表论文约30篇。