

# 一种遥感图像中多感兴趣区域的压缩算法

## A Compression Algorithm about Multi - Region of Interest of Remote Sensing images

薄秋慧 龚育昌 岳丽华 李同钧 (中国科学技术大学计算机科学系 230027)

**摘要:** 遥感图像的特殊应用,常要求对遥感图像进行无损压缩。但是由于遥感图像含有丰富的纹理,获得的无损压缩比一直很低。而遥感应应用中,常常是对某一地区和某几个地区感兴趣,所以可以对感兴趣区域进行无损压缩,而以损失非感兴趣区域信息为代价。本文提出了一种用于遥感图像的多感兴趣区域的压缩算法 LS - MROI,实验结果表明该算法用于 ROI 区域压缩能够获得较好的压缩性能。

**关键词:** 压缩 SPIHT LOCO - I 感兴趣区域

### 1 引言

一般来说,图像压缩的各种算法都是针对全图来进行压缩的,在某些应用场合,由于信道的传输速率限制,针对全图压缩的方法不能很好的在压缩品质和压缩比之间取得折中。而在这些场合中,人们感兴趣的并不是全幅图像,而是图像中的一些重要部分,比如遥感图像中的机场、港口、发电厂等目标。这就要求将感兴趣区域(ROI)和非感兴趣区域区别对待,以获得不同的压缩效果,而且遥感图像的 ROI 常是用户更加关注的目标,有特殊的应用,往往要求重构的 ROI 能完全恢复原图的信息,所以必须对 ROI 进行无损压缩。

目前支持 ROI 的压缩算法有很多,基于感兴趣区域的编码已是 JPEG2000 和 MPEG - 4 标准提供的一个重要的特征<sup>[1]</sup>。它能保证图像中几个相对较小的区域有比整个图像更小的失真率。总结大部分算法都是在对小波系数编码上的一些改进,这使得在区域编码中存在大量的编码冗余。例如在文献[5]中,一个 4 × 4 的感兴趣区域居然需要对 121 个小波系数进行编码,这无疑严重影响了编码效果。

从目前发展的图像压缩算法上看,主要有两大类。一是基于变换的压缩,一是基于像素上下文的压缩。在基于变换的压缩中,小波变换是近 20 年来发展起来的新技术。它具有良好的时(空)频域局部化特性,同时有快速算法。1994 年, W. Sweldens 等人提出一种不依赖于 Fourier 变换的新的双正交小波构造

方法—提升方法(Lifting Scheme),并证明了在提升算法的基础上可以进行整数集到整数集的小波变换。从而对图像变换后的系数矩阵不需量化就可直接用于编码。SPIHT(Set Partition in Hierarchical Trees)算法是针对小波变换域的一种非常流行的方法,它在 EZW(Embedded zerotree wavelet)的基础上发展了空间方向树,使集合的表示更加精简,提高了压缩性能。而基于像素间上下文的压缩主要利用相邻像素间的相似性,用计算概率方法来压缩图像,常用于无损应用中,如 LOCO - I(Low Complexity Lossless Compression for Images)算法和在此基础上发展的 CALIC(Context - based Adaptive Lossless Image Compression)算法,它们能获得较基于小波变换域方法更高的无损压缩比。LOCO - I 和 CALIC 用于无损压缩效果明显好于 SPIHT,而 SPIHT 用于有损压缩效果相当不错。如果结合这两种算法的优势,把它们用于 ROI 压缩中,应该有非常好的表现。基于以上考虑,本文提出了 LS - MROI(LOCO - I and SPIHT for Multi - Region Of Interest)算法,它对 ROI 进行像素间编码,而对非感兴趣区域(背景区域)在进行整数小波变换后用 SPIHT 算法进行有损压缩。

本文如下组织结构:第二部分回顾 SPIHT 算法和 LOCO - I 算法,为 LS - MROI 的提出奠定基础;第三部分简单介绍了感兴趣区域的选择,并提出了 LS - MROI 算法;在最后是实验结果和结论。

## 2 SPIHT 算法和 LOCO-I 算法回顾

### 2.1 SPIHT 算法

SPIHT 是 EZW 算法的改进。这种算法针对图像小波分解后各子带系数所呈现出来的树状层级分解结构、尺度间明显的相似性而设计的。其基本思想是：把小波变换后的系数按照其幅度值由大到小排序，用位平面来表示排序后各系数的二进制值。这种算法的好处就是利用了小波多分辨率的固有特性，将编码的单位缩小到比特，和现有的其它编码方法相比，不但具有内嵌编码的特征，能够终止在需要的码率或图像质量处，也可实现渐进的图像传输，而且在性能上有很高的信噪比和极快的编解码速度。为了进一步说明 SPIHT 如何与 LOCO-I 结合实现 LS-MROI 算法，现具体描述 SPIHT 算法(参数定义参看文献[2])：

2.1.1 初始化：输出  $n = \lceil \log_2(\max |C_{i,j}|) \rceil$ ，将 LSP 设为空表，将  $(i,j) \in H$  加入 LIP，只将有子孙的  $(i,j) \in H$  作为 A 类型加入 LIS 中。

2.1.2 排序过程

(1) 对集合 LIP 中的每个  $(i,j)$  做

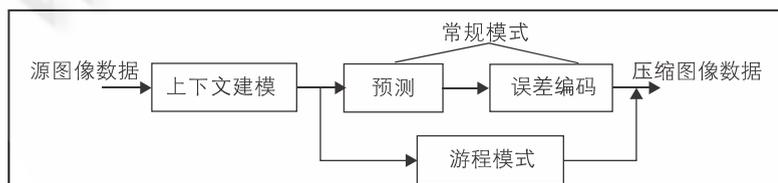


图 1 LOCO-I 算法基本结构

① 计算  $S_n(i,j)$  并输出  $S_n$ ；

② 如果  $S_n = 1$ ，将  $(i,j)$  移到 LSP 中，输出  $C_{i,j}$  的符号位；

(2) 对集合 LIS 中的每个  $(i,j)$  做

① 如果是 A 类型的，则

• 计算  $S_n(D(i,j))$  并输出；

• 如果  $S_n(D(i,j)) = 1$  则

\* 对每个  $(k,l) \in O(i,j)$ ，同时做

\* 计算  $S_n(k,l)$ ，输出相应的  $S_n$ ；

\* 如果  $S_n = 1$ ，则将  $(k,l)$  加入 LSP 的末尾；并输出

$C_{k,l}$  的符号位到相应的码流中；

\* 如果  $S_n = 0$ ，则将  $(k,l)$  加入 LIP 末尾；

\* 如果  $L(i,j)$  不是空集，则将  $(i,j)$  作为类型 B 的集合移到 LIS 的末尾并转到 b. 2.2 执行，否则将  $(i,j)$  从 LIS 中清除。

② 如果集合  $(i,j)$  是 B 类型的，则

• 计算  $S_n(L(i,j))$ ，输出相应的  $S_n$

• 如果  $S_n = 1$  则

\* 将每个  $(k,l) \in O(i,j)$  作为 A 类型加进 LIS 的末尾；

\* 将  $(i,j)$  从 LIS 中删除。

2.1.3 精练过程：将 LSP 中的每个  $(i,j)$  输出  $l(C_{i,j})$  的第  $n$  个最有意义的位到相应的码流中。

2.1.4 量化步长更新： $n = n - 1$  转到第 2 步执行。若  $n = 0$ ，算法执行完毕。

对图像经 SPIHT 算法得到的二进制位流进行熵编码即得到图像压缩数据。SPIHT 解码方法跟编码方法的步骤一样，不同点只是把编码时的输出改为输入即可。

### 2.2 LOCO-I

LOCO-I 是 ISO 和 IEC 合作开发出的一种新的连续色调图像无损(或近无损)压缩标准 JPEG-LS 中采用的压缩算法，JPEG-LS 取代了 JPEG 的无损压缩模型，在对图像进行无损压缩上具有一定的优势。LOCO-I 主要基于上下文模式的预测编码方式，它考察当前像素的几个已出现的近邻，用其作为当前像素的上下文，用上下文来预测当前像素，从几个这样的概率分布中选择一个，并根据该分布用一个特殊的 Golomb 码字来编码预测误差。

还有一种游程模式，对相同像素的游程长度进行编码。LOCO-I 的简单算法结构如图 1，用于预测当前像素  $x$  的上下文模型示于图 2。

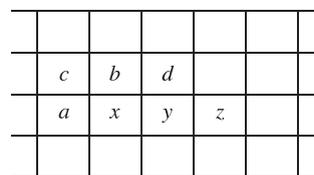


图 2 LOCO-I 的上下文模型

编码器考察上下文像素，并决定用游程模式还是常规模式编码当前像素  $x$ 。如果上下文暗示当前像素

后面的像素  $y, z, \dots$  可能是相等的, 则编码器选择游程模式; 否则, 就选择常规模式。编码过程依赖于选择的模式。

在常规模式中, 编码器利用上下文像素  $a, b, c$  的值预测像素  $x$ , 而后从  $x$  中减掉预测值得到预测误差, 记作  $Errval$ 。用一个与上下文有关的项来修正该误差 (用于补偿在预测中的系统偏差), 并进行 Golomb 编码。Golomb 编码取决于上下文的所有 4 个像素, 也依赖于前面已编码的用于同一个上下文的预测误差。

在游程模式中, 编码器从当前像素  $x$  开始, 找到与上下文像素  $a$  相等的最长像素游程, 但不扩充这个游程到超过当前图像行的结尾。因为游程中所有的像素都等于  $a$  (且  $a$  对于解码器已知), 故只有游程长度需要编码。

跟 SPIHT 一样, LOCO - I 的解码器与编码器没有显著的不同, 是一个近似对称的压缩算法。其具体的实现方法参见文献[6]。

### 3 LS - MROI 算法

#### 3.1 感兴趣区域的选择

支持感兴趣区域压缩的图像压缩大多是应用于图像传输和海量图像数据 (遥感图像、医学图像等) 存储的场合: 由于信道或存储空间受限, 不得不以牺牲非感兴趣区域的信噪比来换取感兴趣区域的高信噪比。

在海量图像数据存储中, 感兴趣区域的选择一般是经过事先筛选出来的一些有意义的区域。而对于图像传输, 感兴趣区域的选择, 按选择的时机可以分为两种方式<sup>[4]</sup>:

(1) 离线选择 (Off - line Choose): 在图像压缩编码开始前由图像传输方选择 ROI, 或根据传输方和接收方预先已经达成的协议选择 ROI。在这种方式中, 接收方在图像传输过程中并不介入 ROI 的定义, 也就不需要编解码双方的通信。

(2) 在线选择 (On - line Choose): 在编码过程中, 由接收方根据以前收到的信息来选择 ROI, 并将该信息发送给编码方, 编码方按照解码方指定的 ROI 进行编码。这种 ROI 选择方法需要编解码双方的通信。

#### 3.2 ROI 和背景区域的编码处理

通过 LOCO - I 算法可以看出, 它利用了像素间的相关性以记录更小的差值来达到压缩目的。它运用了

两种模式编码: 当当前像素与其前面的像素具有相同的值时启用行程编码方式, 如果不同则启用常规模式。这样看来, LOCO - I 对平坦区域压缩非常有效。利用这一点可以很好地用于不同形状的 ROI。如果 ROI 是不规则图形, 则按其外接矩形进行边沿延拓, 非 ROI 像素以 0 填充, 形成包含 ROI 的矩形图形, 可以用 LOCO - I 算法压缩。对于 ROI 的位置信息只需要记录它的对角线信息。这样由于填充部分都为 0, 且最大可能是连续的 0 值, LOCO - I 会启用行程编码, 使得对 ROI 的压缩达到最好。

SPIHT 算法支持内嵌式编码和渐进分辨方式传输图像, 它根据重要系数位置信息, 首先对小波变换域中的重要系数的最高端位平面进行编码, 然后逐次编码重要系数的次高端位平面和次要系数的最高端位平面。SPIHT 算法有效的表示了小波系数的位置信息, 并对系数进行位平面编码, 所以能获得较高的编码性能。但是 SPIHT 对重要系数 (大系数) 的输出非常有效, 而对小系数的输出效率很低, 原因在于它增加了太多的记录位置信息的数据。这样用 SPIHT 编码传输允许一定失真的背景图像成为一种非常好的选择。SPIHT 对小波变换后的系数矩阵进行编码, 而对于 ROI 区域的像素在进行小波变换前清 0。这样根据应用要求, 接收端可以在接收完 ROI 区域编码后, 以任何质量接受背景图像, 来完成对图像的处理。

#### 3.3 LS - MROI 算法描述

一幅图像, 记为  $\Omega$ , 定义其中的 ROI 为  $\Omega_i (i = 1, 2, \dots)$ 。如果  $\Omega_i$  与  $\Omega_j$  有区域重叠, 可以有两种方式处理: 一种是合并两区域作为更大的 ROI; 一种是重叠部分只分入其中一个 ROI 中, 另一个区域不再包含。LS - MROI 算法描述如下:

(1) 定义 ROI 区域  $\Omega_i$ , 进行边界延拓形成一矩形区域  $\Omega_i'$ , 对延拓部分像素清 0, 同时记录 ROI 位置信息。

(2) 对  $\Omega_i$  运行 LOCO - I 算法, 获得  $\Omega_i$  的压缩数据  $C_{\Omega_i}$ 。

(3) 在图像  $\Omega$  上对于 ROI 区域  $\Omega_i$  中像素清 0, 得到处理后图像  $\Omega$ 。对  $\Omega$  进行整数 5/3 小波 5 级分解, 得到小波变换矩阵  $waveletmatrix$ 。

(4) 对  $waveletmatrix$  运行 SPIHT, 并根据编码需要在任意阶段获得背景压缩图像数据  $C_{\Omega}$ 。

表 1 LS - MROI 实验数据

项目名称	各区域获得的压缩比				解压缩后各区域获得的信噪比 (db)		
	ROI ( $\Omega_1$ )	ROI ( $\Omega_2$ ) 非 ROI	整幅图像	恢复 ROI (db)	恢复 ROI2 (db)	恢复非 ROI (db)	
LS - MROI	1.954	1.365	18.465	9.389	无损	无损	23.187
SPIHT	1.832	1.217	18.465	8.888	无损	无损	23.187

(5) 合并  $C_{\Omega_1}$  和  $C_{\Omega_2}$ 。在解码端,接收器首先根据获得的 ROI 的位置信息和压缩数据  $C_{\Omega_1}$  恢复出  $\Omega_1$ ,进而由  $C_{\Omega_2}$  恢复背景图像  $\Omega \setminus \Omega_1$  与  $\Omega_1$  叠部分进行或操作,得到满足质量要求的图像。



图 3



图 4

#### 4 实验结果

图 3 是北京某一地区的遥感图像原图,大小为  $512 \times 512 \times 8$ ,选取了两块 ROI 区域  $\Omega_1$  和  $\Omega_2$ , $\Omega_1$  是一块三

角形区域, $\Omega_2$  是一块  $128 \times 128$  大小的正方形区域,它们占总图的 8.3%。图 4 是对 ROI 进行无损压缩,而对背景图像进行压缩 18.5 倍后重构的图像。表 1 列出了图 4 的实验数据。表 1 中的第三行是用 SPIHT 算法对 ROI 编码获得的压缩比。

从表 1 可以看出,LS - MROI 算法对 ROI 的压缩性能高于用 SPIHT 方法进行的压缩。尤其对于不规则 ROI 图像,由于进行矩形边界延拓时填充部分是 0,所以用 LOCO - I 压缩能获得很高的压缩比。这样当对背景区域以同样的速率编码时,LS - MROI 算法可以通过以更少的字节数存储感兴趣区域图像,从而使得整幅图像也进一步减少了存储的字节数。同时 LS - MROI 算法克服了文献[5]中提到的对于小范围区域进行小波变换后系数增长过快问题。

总之,LS - MROI 算法以 ROI 较高的无损压缩比使整个图像的压缩字节数减少,并且支持对任意形状区域编码,这一特点非常适合遥感图像中对重要区域的编码应用。

#### 参考文献

- 1 C. Christopoulos, J. Askelof and M. Larsson, "Efficient Methods for Encoding Regions of Interest in the Upcoming JPEG2000 Still Image Coding Standard," IEEE Signal Processing Letters, Vol. 7, pp. 247 - 249, September 2000.
- 2 Said and Pearlman, "A New, Fast, and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Tree," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 6, pp. 243 - 250, June 1996.
- 3 Michael D. Adams, Faouzi Kossentini, Reversible Integer - to - Integer Wavelet Transforms for Image Compression: Performance Evaluation and Analysis,

(下转第 25 页)

(上接第 20 页)

- IEEE Transactions on Image Processing, VOL. 9, NO. 6, June 2000.
- 4 Eiji Atsumi and Nariman Farvardin, "Lossy/Lossless Region - of - Interest Image Coding Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees," Image Processing, 1998. ICIP 98 proceedings. 1998 International conference on, volume:1, 4 - 7 oct 1998 Pages: 87 - 91 voll.
  - 5 Keun - Hyeong Park and Hyun Wook Park, "Region - of - interest coding based on set partitioning in hierarchical trees," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 12, no. 2, pp. 106 - 113, February 2002.
  - 6 Dongshidu, Yangxiaofan, Liuguojin. A Context Model of Wavelet Coefficients for Image Compression. Journal of Chongqing University. 4 2003, 26(4). [董世都、杨小帆、刘国金, 用于图像压缩的小波系数的上下文模型[J]. 重庆大学学报, 4 2003, 26(4)].
  - 7 Marcelo J. Weinberger, Gadiel Seroussi, Guillermo Sapiro. The LOCO - I Lossless Image Compression Algorithm: Principles and Standardization into JPEG - LS[J]. IEEE Trans Commun, 1997, 45(4): 437 - 444.
  - 8 Ismaeil R. Ismaeil. LOCO - I (JPEG - LS) 演示程序 (ver1.1) [EB/OL]. <http://www.hpl.hp.com/loco>, 8 1997. University of British Columbia.
  - 9 吴乐南等译, 数据压缩原理与应用 (第二版), 北京电子工业出版社, 2003。