

针对遥感图像压缩的改进 SPIHT 算法^①

周倩倩, 李章维, 苏守财

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

摘 要: 在研究遥感图像和小波分解系数特点的基础上, 提出了一种改进的 SPIHT 算法: 对第一阶小波变换产生的低频子带和高频子带进行小波再分解, 并对再分解后的四个子带, 取不同的门限值, 分别进行编码; 再分解后的高频子带小波系数不进行编码, 在解码时直接赋予固定值重构图像。改进算法更好地处理了低频子带和高频子带的小波系数, 对遥感图像的压缩实验证实了改进算法的有效性。

关键词: 遥感图像; SPIHT; 子带编码; 门限值; 小波系数

Improved SPIHT Algorithm for Remote Sensing Image Zcoding

ZHOU Qian-Qian, LI Zhang-Wei, SU Shou-Cai

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: After the studying of remote image and wavelet decomposing coefficients, an improved algorithm is introduced based on SPIHT: The first-order low-frequency sub-band and high frequency sub-band are decomposed again and the four further decomposed sub-bands are coded respectively with different threshold; For the decomposed high-frequency sub-band, wavelet coefficients will not be coded and they will be given a fixed value when they are decoded. The improved algorithm deals with the wavelet coefficients in different sub-bands. The compression experiment of remote-image confirms the improved algorithm is effective.

Key words: remote sensing image; SPIHT; sub-band coding; threshold; wavelet coefficients

1 引言

随着遥感技术的发展, 遥感图像被广泛应用于城市规划、地理测量和定位、军事侦察等多种行业。为了更好地传输和存储图像, 压缩编码方法在不断地被研究和改进中, 其中基于小波变换的 SPIHT 被认为目前国际上静态图像压缩算法中最高效的算法之一^[1]。

图像经小波变换后, 其系数具有很多特征: 绝大部分能量集中在低频子带; 高频子带包含了图像的纹理和边缘等信息; 在同一方向的不同高频子带间, 小波系数的空间位置分布有一定的相关性。

SPIHT 算法是在 1993 年由 Shapiro M 和 Pearlman A 首次提出的, 该算法是在零树结构的基础上, 引入空间方向树的概念较好地利用了小波系数的特性^[2]。图 1 是空间方向树结构示意图。

与零树结构相比, 在空间方向树结构中, 不但很好地考虑了不同尺度间小波系数的相关性, 而且很好地利用了同一尺度下小波系数的相关性, 比起 EZW, SPIHT 算法的编码效率有显著地提高。另外 SPIHT 算法也保留了 EZW 的一些优良特性, 比如结构简单, 可以嵌入码流等特性。但是, 也有一些不足:

1: SPIHT 根据最小均方误差的准则, 会对低频子带的小波系数进行优先编码, 高频子带的小波系数优先级相对会低些, 而对于遥感图像, 高频子带包含了丰富的纹理信息^[3,4], 若用传统 SPIHT 算法进行编码, 解码后得到的图像就会严重丢失纹理信息, 影响图像失真度。2: 人眼视觉系统 (human visual system, HVS) 对不同频率的敏感度是不一样的^[5], 而 SPIHT 对于人眼敏感区并没有做特殊处理。针对以上 SPIHT 算

① 收稿时间:2011-06-09;收到修改稿时间:2011-07-25

法的不足之处,我们提出了改进的 SPIHT 算法,对于第一次分解产生的四个子带(LL 子带,HL 子带,LH 子带,HH 子带)分别再进行小波分解,并对再分解后的四个子带,分别用 SPIHT 算法进行编码,对于低频子带,人眼敏感度较大,对该子带进行编码时,我们采用更小的编码门限值,把传统用的 2^n 改为 1.5^n 作为门限值;对高频子带进行小波再分解后,小于最小门限值的小波系数,编码时赋 0,解码时直接赋值 0.5。用改进算法进行编码和解码,较好地改善了重构得到的图像质量。

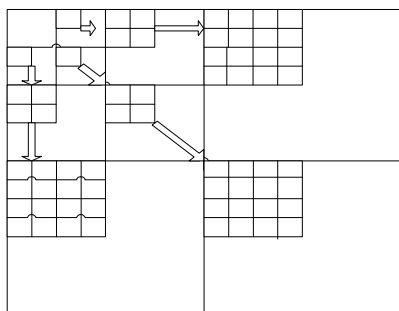


图 1 空间方向树结构

2 SPIHT算法

SPIHT 算法是在 EZW 算法的基础上发展来的,很多思想与 EZW 相似。为了清楚地描述算法,先对一些符号进行说明^[6,7]:

$S(T)$ 作为集合 T 是否有效的标志位,

$$s(T) = \begin{cases} 1 & \max(|X_{i,j}|) \geq 2^n \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

若集合 T 为一个系数的坐标时,则为 $S(i,j)$.LIP:不重要系数表;LSP:重要系数表;LIS:不重要集合表。

1) 初始化:取门限值 $T=2^n$,其中, $n=\lceil \log_2(\max\{|X_{i,j}|\}) \rceil$,令 LSP 为空表,把坐标 $(i,j) \in H$ 加入到 LIP,把坐标 $(i,j) \in H$ 中有子孙的加入到 LIS,并作为 $D(i,j)$ 类集合。

2) 扫描:

对于 LIP 的每个记录 (i,j) :如果 $S=1$,将 (i,j) 移入 LSP,并输出 $X_{i,j}$ 的符号位。

对于 LIS 的每个记录 (i,j) :

2.1)如果是 $D(i,j)$ 类集合,则若 $S(D(i,j))=1$,则:

a) 对每一个 $(k,l) \in O(i,j)$,如果 $S(k,l)=0$,将 (k,l)

加入 LIP;如果 $S(k,l)=1$,将 (k,l) 加入 LSP,并输出 $X_{k,l}$ 符号位。

b) 如果 $L(i,j)$ 是空集合,将 (i,j) 从 LIS 中移出;如果 $L(i,j)$ 不是空集合,将 (i,j) 加入 LIS 尾部,并标明它是 $L(i,j)$ 类型集合。

2.2) 如果是 $L(i,j)$ 类集合,若 $S(L(i,j))=1$,则将每个 $(k,l) \in O(i,j)$ 加入 LIS 尾部,并标记为 $D(k,l)$ 类型,并且从 LIS 中移去 (i,j) 项。

3) 对 LSP 中每一项 (i,j) (当前这遍扫描产生的除外),输出 $X_{i,j}$ 的第 n 个最高有效值。

4) $n=n-1$,若 $n=0$,则结束,否则,返回第 2 步。

3 改进算法

3.1 取用不同门限值进行编码

不同类型的图像有不同的数据特性,与其他图像相比,遥感图像的数据容量大、纹理丰富、细节信息多、图像数据冗余度低、局部相关性弱。经小波分解后,空间——频率局部化,低频子带包含了主要的图像能量;高频子带包含了边缘信息和大部分纹理信息,系数幅度从粗尺度到细尺度逐渐衰减。另外,根据系数相关性公式^[8]

$$coeff_1 = \frac{\sum_i \sum_j [(Y'_{i,j})^2 - (Y_{i,j})^2]}{\sum_i \sum_j (Y'_{i,j})^2} \quad (2)$$

(其中, $Y'_{i,j}$ 、 $Y_{i,j}$ 为图像小波分解后各子带图像的像素值, m 、 n 为各子带图像的长和宽)得出:在不同分解层里,同一空间位置的小波系数有较大的相关性,而同一分解层的各频带小波系数的相关性就比较小。传统的小波分解是对前一次分解得到的低频子带进行再分解,这就使得基于零树结构的 SPIHT 算法对图像进行编码时,重视低码率压缩,对高频信息的表现能力较弱,解码后得到的图像会丢失较多的纹理和边缘信息。为了改善此缺点,对图像的高频子带也进行小波分解,如图 2 所示^[9],即对第一次小波分解得到的四个子带(为了叙述方便,后面提到的低频子带为图 2 中的 LL 区域,高频子带为图中的 HL,LH,HH 区域),分别进行小波再分解。考虑到高压缩性能和低计算复杂度,采用了 CDF9/7 滤波器高频子带分解后,四个子带仍是空间数据结构,满足 SPIHT 算法的要求,可以对四个子带分别进行编码。

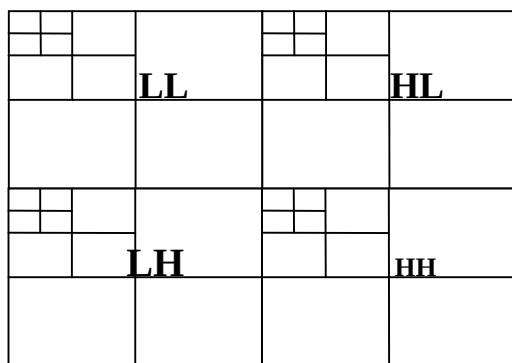


图 2 4 个子带分解结构

对于不同频率的信息,人眼的敏感度是不同的。人们已经得出了多种描述人类视觉感知的模型,其中,对比度敏感性函数(contrast sensitivity function,CSF)模型就是著名模型之一,是频率函数,表示为^[10]:

$$F(f)=\text{输出对比度}/\text{输入对比度} \quad (3)$$

$$f = (f_x^2 + f_y^2)^{0.5} \quad (4)$$

其中,空间频率 $f = (f_x^2 + f_y^2)^{0.5}$, f_x 和 f_y 分别表示水平和垂直方向的空间频率,进一步做归一化处理,即:

$$f = f / f_s \quad (5)$$

f_s 取常值 64pixels/degree,得到归一化 CSF 曲线图,如图 3,纵坐标为 $F(f)$,横坐标为 f :

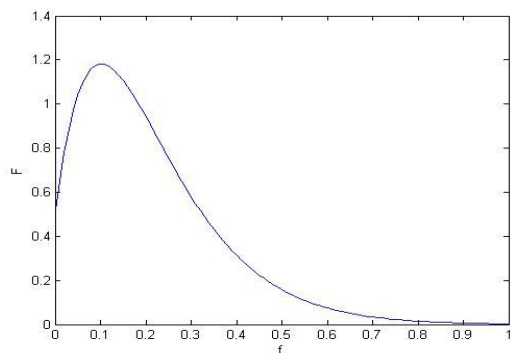


图 3 归一化 CSF 曲线

由图可见,峰值出现在中低频,除了在靠近 0 频率附近的敏感度较低外,由 0.2 值右边的曲线趋势可见,敏感度随着频率的增加而降低。针对这一视觉特性,对低频子带(即图 2 所示的 LL 子带)进行编码时,取门限值 $T1=1.5n$ 。对小波系数进行排序扫描时,小波系数如果大于等于 $T1$,则认为是重要的,输出 1,反之,输出 0;解码时初值取 $1.5n+1$,通过精细扫描逐

步优化数据。而对于人眼敏感度弱些的高频子带(即图 2 中的 LH 子带、HL 子带、HH 子带)编码时,门限值还是取 $2n$ 。相比传统门限值 $T=2n$,采用新门限值后,扫描次数会增加,会增加一定的编码时间,不过只是针对低频子带,所以时间增加不多,而且,采用门限值 $T1$ 后,解码时可以更精细地表示低频数据,改善图像质量。

3.2 高频子带的部分系数不编码

在上述的 SPIHT 改进后,我们已经对图像的低频子带和高频子带都进行了小波再分解,如图 4 所示。对于高频子带(即图 4 的 HL 子带, LH 子带, HH 子带),小波再分解后得到的第一层高频子带系数(即图 4 中阴影部分的子带系数),约有 91%系数的绝对值接近零值^[11],小于最小门限值,所以,用 SPIHT 算法进行编码这些系数时直接取 0,在解码时赋予 0.5 重构图像,这样就可以分配给其他相对重要的系数更多的比特,提高重构精度。

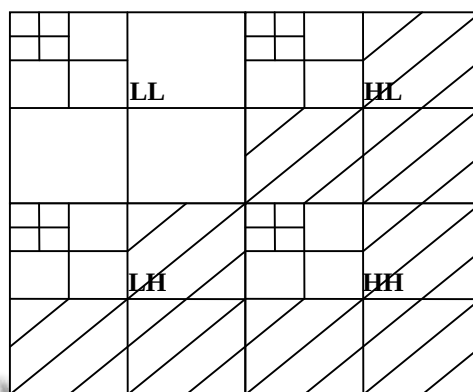


图 4 高频分解后的结构

4 实验结果和分析

根据本文提出的改进算法,通过 Visual C++6.0 编程,对一张大小为 256bit×256bit×8bit 的灰度遥感图像进行了编解码实验,采用了 9/7 小波变换,5 级分解,得到如下结果:



图 5 原图

SPIHT 算法

改进算法

下面是不同方法编解码图像得到的性能比较表格:

表 1 两种算法的 PSNR 比较

比特率	SPIHT	改进算法
0.201	26.336	26.721
0.435	29.417	29.698
0.641	31.873	32.070
0.857	34.384	34.491
1.131	36.271	36.342

由图 5 可见,传统算法和改进算法在解码后重建图像进行比较,发现改进算法较好地提高了图像质量,更好地保持了纹理细节,边缘更加清晰,改进算法有了更好的主观视觉效果。

表 1 的数据显示,改进算法得到的重建图像峰值信噪比 PSNR 比传统算法平均高出 0.2dB 左右。

5 结论

本文在分析传统 SPIHT 算法和人眼视觉特性的基础上,针对传统 SPIHT 算法的一些不足,提出了高频分解,改变编码门限值以及对部分数值很小的波系数不参与编码等改进,分别对小波系数的低频子带和高频子带都进行了有针对性的处理。通过实验证明,改进的算法较好地提高了图像重建质量。

参考文献

- 1 何奇,韩国强,张见威,林少丹.一种基于图像纹理分析的分形和 SPIHT 混合编码.中国图像图形学报,2005,10(12):

(上接第 251 页)

参考文献

- 1 何永义.基于 PSOC TM 片上系统的原理与应用.上海:上海大学出版社,2003.8-36.
- 2 何利民.单片机应用技术选编.北京:北京航空航天大学出版社,2002.21-25.
- 3 高美珍.基于 PIC16 单片机和 HM1500 的湿度测量.电子工程师,2004,30(1).
- 4 郭亮.基于 Si4432 的无线射频收发系统设计[硕士学位论文].天津:天津工业大学,2009.

1486.

- 2 龚劬,阮华.基于改进的 SPIHT 整数提升小波变换的图像压缩.计算机仿真,2009,26(3):195.
- 3 Li B, Yang R, Jiang HX. Remote sensing image compression using two-dimensional oriented wavelet transform. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 2010,49(1):236-250.
- 4 Mi DL, Feng P, Wei B, et al. Wavelet packet compression algorithm for remote sensing images with extended spatial orientation tree. Opto-Electronic Engineering, 2008,35(1): 94-99(in Chinese).
- 5 邓宸伟,赵保军.一种快速改进型 SPIHT 算法.北京理工大学学报,2010,30(4):479.
- 6 苏红旗,吕萌,谈芳,温少欣.SPIHT 图像编码算法研究及改进.西华大学学报(自然科学版),2009,28(6):52-53.
- 7 韩大伟,梁华庆,耿敏.SPIHT 算法及其在基于二维条码的防伪证件中的应用.科学技术与工程,2010,10(13):3097-3098.
- 8 赵洁红,孙文军,孟忠,郝志航.CCD 遥感图像的小波分解特性及编码压缩.光学精密工程,2004,12(2):207.
- 9 潘志刚,高鑫.针对纹理图像压缩的改进 SPIHT 算法.中国科学院研究生院学报,2010,27(12):223.
- 10 李玲,王向阳.基于视觉敏感特性的小波域图像编码算法研究.小型微型计算机系统,2010,31(4):782.
- 11 徐红丽,钟绍辉.一种基于块树结构的 SPIHT 数字图像压缩算法.湖南工程学院学报,2009,19(1):5.

- 5 徐治非,边信黔.Dlphi 开发环境下的实时数据采集程序设计[硕士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2004.
- 6 戴国骏,张翔,曾虹.系统可配置单片机原理与应用.北京:机械工业出版社,2009.19-21.
- 7 郭帅,何永义.PSoC 的动态配置能力及实现方法.单片机嵌入式及其应用,2003,(1):23-26.
- 8 叶朝辉,华成英.编程片上系统(PSoC)原理及实训.北京:清华大学出版社,2009.8-21.