

一种改进的 LZC 图像编码算法

宋好好 王欣

(山东大学信息科学与工程学院, 济南 250100)

摘要 提出了一种改进的 LZC(listless zerotree coding)图像编码算法,该算法不仅继承了原有 LZC 算法不使用链表、易于硬件实现的优点,而且针对原始算法子带扫描顺序不尽合理、递归结构算法复杂度较高等缺点,通过改变空间子带的编码顺序,将块的概念引入编码过程在改进算法中完全采用顺序结构等措施进一步提高了原有算法的工作效率、降低了 LZC 算法的复杂度。实验结果表明,该算法是一种高效的图像编码算法,其不仅具有良好的视觉效果、无方块效应,而且在相同压缩比情况下,该算法的图像重构质量和 PSNR 均明显优于原始的 LZC 算法。

关键词 图像编码 小波变换 LZC

中图分类号: TN919 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)04-0460-05

An Improved LZC Image Compression Algorithm

SONG Hao-hao, WANG Xin

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100)

Abstract In this paper, an improved listless zerotree coding(LZC)Algorithm is presented. LZC is an image coding algorithm that uses no list during encoding and decoding, permitting the omission of the lists requirement in Said and Pearlman's set partitioning in hierarchical trees(SPIHT) algorithm. Consequently, the memory requirement in a VLSI implementation is reduced significantly. The improved LZC algorithm not only includes the advantage of original LZC in which lists do not be used and that is implemented easily in hardware, but also improves the work efficiency of LZC and reduces the complexity of LZC by changing the coding order of spatial subbands, using the concept of block in the coding process and adopting entirely the ordinal structure in the improved LZC image compression algorithm aiming at the disadvantages of original LZC algorithm such as the unreasonable scanning order and the complicating recursive structure. Finally, the experimental results show that our proposed coding method not only has the properties of good vision effect, non-square effect and no edge oscillation, but also performs better than that of original LZC algorithm in the aspects of the quality of image reconstruction and PSNR under the basis of the same ratio of compression.

Keywords image coding, wavelet transform, LZC

1 引言

自从 Shapiro 提出了嵌入式零树小波(embedded zerotree wavelet, EZW)图像编码算法后^[1],该算法已成为目前公认最好的图像编码算法之一。Said 和 Pearlman 根据 EZW 的基本思想,提出了一种新的且性能更优的实现方法,即基于多级树结构集合分割(set partitioning in hierarchical trees, SPIHT)的图像编码算法^[2]。由于它运用了一

种非常简单且高效的方法来对图像经小波变换后的系数矩阵进行编码,因此 SPIHT 算法是目前最为重要和流行的图像编码算法。但是,由于 SPIHT 编码算法在编解码过程中需要运用 3 个链表来存储重要性系数的坐标和排序过程中用到的子集树,而建立这 3 个链表势必将占有大量的内存,因此给 SPIHT 算法的硬件实现带来了非常大的困难。

无链表零树编码算法(listless zerotree coding, LZC)^[3,4]大大克服了 SPIHT 编码算法的缺点。由于在 LZC 算法的编解码过程中无需使用链表、内存占

用量非常小,因此该算法非常适用于硬件的实现。与 SPIHT 编码算法相同,LZC 也是一种渐进式图像编码算法,当满足目标比特率时,编码算法可以在任意一点终止。

但是,LZC 编码算法也存在一些缺点,例如,由于该算法采用的扫描顺序为从一棵树的根结点开始,一直扫描到这棵树的叶子结点,周而复始,直到将所有结点全部扫描完为止,而图像经小波变换后较大的小波系数一般分布在高层子带中,因此 LZC 算法的子带扫描顺序不尽合理,这使得在相同压缩率下,SPIHT 算法的图像重构质量要比 LZC 算法的图像重构质量好得多;此外,由于该算法中用到了递归结构,这使得 LZC 算法的复杂度较高。

针对 LZC 编码算法的上述缺点,提出了一种改进的 LZC 图像编码算法。该算法通过改变空间子带的编码顺序,将块的概念引入编码过程,并在改进算法中完全采用顺序结构等措施进一步提高了 LZC 算法的工作效率、降低了其算法复杂度。

2 图像的小波变换

小波变换作为一种时-频局部化方法,其基本思想是用一族函数 $\psi_{a,b}(t)$ 来表示或逼近某一函数 $f(t)$,这族函数称为小波函数。小波变换的特点是时间窗和频率窗的乘积(即时间频率窗的面积)很小,适用于非平稳信号的分析。事实证明,用它来处理图像不仅可以得到非常好的结果,且变换后能量集中性好。在实际的小波变换中,为了方便,不管是一维信号还是图像,大都采用二进小波变换。对 $L^2(\mathbf{R})$ 空间中的任意函数 $f(t)$,它的二进小波变换为

$$C_{m,n} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi_{m,n}(t)dt \quad (1)$$

其中, $\psi_{m,n}(t) = 2^{-\frac{m}{2}}\psi(2^{-m}t-n)$,而 ψ 满足

$$\int \psi(t)dt = 0$$

由多尺度分析可知,小波母函数 ψ 由尺度函数 φ 生成,且一维二尺度关系是

$$\begin{cases} \varphi(t) = \sqrt{2} \sum_k h(k)\varphi(2t-k) \\ \psi(t) = \sqrt{2} \sum_k g(k)\varphi(2t-k) \end{cases} \quad (2)$$

在信号的分解与重构时,可使用式(2)中的系数 $h(k)$ 和 $g(k)$ 来构造滤波器,而不直接使用小波函数。

由于一幅图像可以看作是二维信号,因此图像

的二维多尺度分解可以由一维多尺度分解做张量积得到,并由此产生了图像的 Mallat 塔式分解算法^[5]。一幅图像经过一级小波变换后,即产生了 4 个子带图像,即水平和垂直方向低频子带 LL ,水平方向高频和垂直方向低频子带 HL ,水平方向低频和垂直方向高频子带 LH 及水平方向和垂直方向高频子带 HH ,其中, LL 子带集中了图像的大部分能量,即大幅值(绝对值较大)系数大部集中于此,这样就有利于图像的压缩编码。以后的小波变换都是对前一级变换产生的低频子带进行变换。图 1 显示了 $256 \times 256 \times 8\text{bit}$ 标准 Lena 图像经过 2 级小波变换后所形成的各个子带的分布。

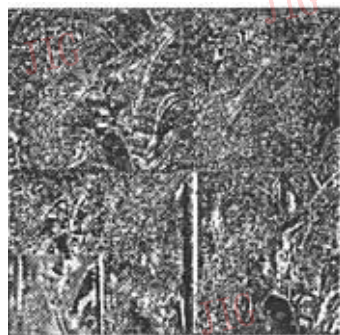


图 1 标准 Lena 图像 2 级小波分解图

3 LZC 编码算法简介

LZC 编码算法^[3]与 SPIHT 编码算法^[2]有相似之处。但是,LZC 编码算法中抛弃了对链表的使用,因此该算法运用了不同的树结构和编码流程。它的树符号如下所述:

$c(i,j)$:在坐标 (i,j) 处的小波系数;

$O(i,j)$: $c(i,j)$ 的直接后代集合(子集合),例如在坐标 $(2i,2j), (2i,2j+1), (2i+1,2j), (2i+1,2j+1)$ 处的小波系数;

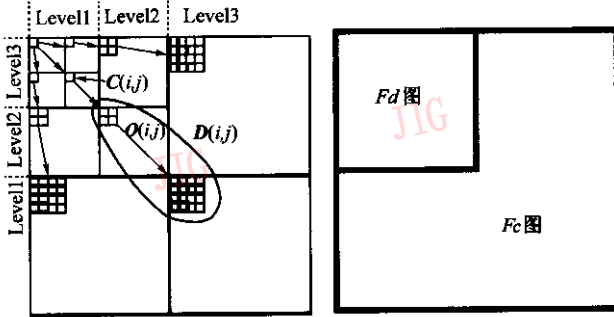
$D(i,j)$:系数 $c(i,j)$ 的后代集合;

$R(i,j)$:在最高 LL 子带的小波系数集合。

与 SPIHT 算法相似,LZC 算法也是用两个树标号 $C(i,j)$ 、 $D(i,j)$ 来指出小波系数的位置信息。LZC 算法允许最低子带(LL)是奇数维,而 SPIHT 算法则要求其必须是偶数维,在硬件实现时就不得不用额外的电路来调整图像尺寸,因此,LZC 算法更便于硬件实现。

与 SPIHT 算法不同,在 LZC 算法中分别用两幅位图来存储重要系数和重要后代集合的位置信息。该

算法分别用 F_c 图和 F_d 图来指出重要系数的位置及重要后代集合的位置,它们的大小如图 2 所示。其中, F_c 图与原始图像的大小相同,而 F_d 图仅是原始图像大小的四分之一,这是由于最底层小波系数没有后代,因此无需标注其重要后代集合的位置。



(a) LZW 算法在不同小波变换层的树结构 (b) LZW 算法中 F_c 位图和 F_d 位图的尺寸

图 2

通过这两幅位图的使用,LZW 算法对内存的需求量大大减少,硬件实现更加容易。例如,对于一幅 512×512 的彩色图像,一个颜色成分需要 512^2bit 的 F_c 图和 256^2bit 的 F_d 图,因此,3 个颜色成分需要的空间为 120KB ($3 \times (512^2 + 256^2) / 8 \text{bit} / 1 \text{K}$),而对于同样大小的图像来说,SPIHT 算法则需要 3.375MB ($18 \times 2 \times 3 \times 512^2 / 8 \text{bit} / 1 \text{K} / 1 \text{K}$),这样大的内存需求量使得 SPIHT 算法用大规模集成电路(VLSI)来实现非常困难,而 LZW 算法所需内存大约仅是 SPIHT 算法的三分之一。

4 改进的 LZW 图像编码算法

为了进一步提高 LZW 算法工作效率,减少其算法的算法复杂度,通过改变空间子带的编码顺序,将块的概念引入编码过程并在改进算法中完全采用顺序结构等措施,提出了一种改进的 LZW 图像编码算法。

4.1 一些概念和集合的重新定义

在改进 LZW 算法中,重新定义下列概念和集合:

$R(i, j)$: 在最高层 4 个子带的小波系数集合;

$B(i, j)$: 以 (i, j) 为左上顶点形成的块,块的大小由该块所在小波图像的层数而定,其具体计算公式为

$$\text{length}_b = 2^{l_{\text{highest}} - l_{\text{now}}}$$

$$l_{\text{now}} = l_{\text{highest}} - 1, l_{\text{highest}} - 2, \dots, 1$$

其中, l_{highest} 为对原始图像进行小波分解的级数;

$D(i, j)$: $B(i, j)$ 块中所有系数 $c(i, j)$ 的后代集合;

矩阵 S : 状态标记矩阵,用来标记块的重要性以及该块及其后代所有块是否为不重要的块集合,矩阵大小与原始图像大小相同。

与原始 LZW 算法相同,改进 LZW 算法中用来判断集合重要性的函数仍为

$$S_n(t) = \begin{cases} 1 & \max\{|c(i, j)|\} \geq 2^n, (i, j) \in t \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

如果 $S_n(t) = 1$ 表示块 t 是重要的, $S_n(t) = 0$ 表示块 t 是不重要的。

4.2 改进 LZW 图像编码算法的描述

(1) Step1

output $n = \lceil \log_2(\max_{(i, j) \in t} \{|c(i, j)|\}) \rceil$;

for all (i, j) set $F_c(i, j) = 0$;

for transform level $l = \text{highest} - 1$

for subband $s = HL, LH$ and HH

for all blocks $\in s$

set $S(i, j) = 1$

for the other blocks set $S(i, j) = 0$;

(2) Step2

for all $c(i, j) \in R(i, j)$ do

if $F_c(i, j) = 1$ then

output the n th significant bit $|c(i, j)|$;

else

output $S_n(c(i, j))$;

if $S_n(c(i, j)) = 1$ then

output the sign of $c(i, j)$

set $F_c(i, j) = 1$;

(3) Step3

for transform level $l = \text{highest} - 1$ to 1

for subband $s = HL, LH$ and HH

for all blocks $\in s$ do

if $S(i, j) = 1$ then

for all $(i, j) \in$ the block

if $F_c(i, j) = 1$ then

output the n th significant bit $|c(i, j)|$;

else

output $S_n(c(i, j))$;

if $S_n(c(i, j)) = 1$ then

output the sign of $c(i, j)$

set $F_c(i, j) = 1$;

else if $S(i, j+1) = 1$

output $S_n(B(i, j))$;

```

if  $S_n(B(i, j)) = 1$  then
  set  $S(i, j) = 1$ ;
  for all  $(i, j) \in$  the block
    output the sign of  $c(i, j)$ 
  set  $Fc(i, j) = 1$ ;
if  $S(i, j+1) = 1$  and  $l \neq 1$ 
  output  $S_n(D(i, j))$ ;
if  $S_n(D(i, j)) = 1$  then
  set  $S(2i, 2j+1) = 1$ ;
else set  $S(2i, 2j+1) = 0$ ;

```

```

(4) Setp4
decrease  $n$  by 1
go back to Step 2;
end

```

从以上对改进 LZC 算法的描述中不难看出,该算法较原始的 LZC 算法所采用的子带扫描顺序更加合理,更加符合图像经小波分解后重要系数在小波图像中的分布特性,并且该算法抛弃了原始 LZC

算法中所采用的递归结构,完全采用顺序结构,从而使得算法复杂度有明显的减少。

5 实验结果

为了验证改进 LZC 算法的高效性,以 $512 \times 512 \times 8\text{bit}$ 的 3 幅标准图像为例,进行了 4 级小波分解与重构实验,并与原始的 LZC 算法进行比较。实验结果如表 1 和图 3 所示,其中,小波分解重构时采用的是常见的双正交 D9/7 小波滤波器^[6],实验中未对两算法的输出码流再进行熵编码。

表 1 两种图像编码算法的整体性能(PSNR)

单位: dB

比特率 (bit/pixel)	Lena		Barbara		Boat	
	改进 LZC	LZC	改进 LZC	LZC	改进 LZC	LZC
0.5	35.02	24.71	29.33	23.78	36.18	20.12
1.0	37.19	28.86	35.15	26.14	41.00	30.93
2.0	40.37	33.63	40.07	30.18	47.01	36.46



原始图像



改进 LZC 算法重构图像



LZC 算法重构图像

(a) Lena(1bit/pixel)



原始图像



改进 LZC 算法重构图像



LZC 算法重构图像

(b) Barbara(2bit/pixel)



原始图像



改进 LZC 算法重构图像



LZC 算法重构图像

(c) Boat(0.5 bit/pixel)

图 3 $512 \times 512 \times 8\text{bit}$ 标准图像未经算术编码时重构效果对照

6 结 论

以 LZC 图像编码算法为基础,通过改变空间子带的编码顺序,将块的概念引入编码过程并在改进算法中完全采用顺序结构等措施,提出了一种改进的 LZC 图像编码算法,该算法进一步提高了原有算法的工作效率、降低了 LZC 算法的复杂度。实验结果表明,利用该算法所得的重构复原图像不产生任何方块效应,图像复原质量较高;在相同压缩比情况下,该算法的图像重构质量明显优于 LZC 算法。

参 考 文 献

- 1 Shapiro J M. Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficients[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12):3445~3462.
- 2 Asad I, William A P. A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical processing [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3):243~250.
- 3 Lin Wen-Kuo, Burgess Neil. Listless zerotree coding for color images [A]. In 32nd Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers[C]. Monterey, CA, USA, 1998:231~235.

- 4 Lin Wen-Kuo, Brian Wai-Him Ng, Burgess Neil, *et al.* Reduced memory zerotree coding algorithm for hardware implementation [A]. In: Proceedings of the 99 International Conference on Multimedia Computing and Systems[C]. Florence, Italy, 1999: 57~61.
- 5 Antonini M, Barlaud M, Mathieu P, *et al.* Image coding using wavelet transform[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1992, 1(2):205~220.



宋好好 1979年生,2001年于山东大学获工学学士学位,现为山东大学信息科学与工程学院信号与信息处理专业硕士研究生。研究方向为数字图像处理和图像编码。



王欣 1947年生,1990年于北京邮电大学获博士学位,现为山东大学信息科学与工程学院教授、中国电子学会电路与系统分会委员。研究方向为非线性滤波、图像处理 and 模式识别。