

一种准无损压缩图象子带编码算法

李冬梅 杨长生 蒋黎红

(浙江大学计算机系统工程研究所, 杭州 310027)

摘 要 针对有损压缩会损失一部分信息而无损压缩又压缩比较低的问题, 提出一种实现准无损压缩的方法, 该方法就是首先将图象用噪声模型进行去除噪声处理, 以提高图象的信噪比, 并有利于图象的压缩, 然后再使用区域自适应子带编码算法进行编码。由于该算法能快速收敛, 因而编码时间相对较少; 编码通常能实时执行。实验结果表明, 该压缩方案具有高信噪比、高压缩比等优良性能。从算法的理论基础来看, 其中基于噪声模型的噪声消除算法对其他编码算法(如 DCT、DPCM、JPEG、SPIHT、MPEG 等等)同样具有推广意义。

关键词 图象压缩 子带编码 噪声 准无损

中图法分类号: TN919.8 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)08-0791-04

A Nearly Lossless Subband Compression Algorithm

LI Dong-mei, YANG Chang-sheng, JIAN Li-hong

(Computer System Engineering Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract It is well known that there are a lot of noise data in many digital images. In generally speaking, the embedded noise data in an image are not only harmful to view the image, but also there is less correlation among noise data and original image data. So the noise data are hard to be compressed by general compression methods based on predictive or schotistic coding. Therefore a new method to achieve nearly lossless compression of an image is proposed in this paper. In the first step in the proposed method the noise data in an image are eliminated based on a noise model, and then the resulted image is as better as the original one for the usages. In the second step, the image is encoded by using a region adaptive subband compression algorithm without loss any data. Obviously, after decoding, the reconstruction image is a nearly lossless image without harmful to the usages. Coding time of the proposed algorithm is affordable thanks to fast convergence of the algorithm. Coding could always be performed in real time. The experimental result shows that the compression scheme provides impressive performance such as high signal-to-ratio and high compression ratio. According to the theory of the algorithm, the noise elimination algorithm based on noise model can also be extended to the other compression algorithms such as DCT, DPCM, JPEG, SPIHT and MPEG.

Keywords Image compress, Subband coding, Noise

0 引 言

近年来,随着现代通信和计算机技术(如多媒体、高性能电视、VOD、电视电话系统)的飞速发展,图象压缩技术在通信、介质存储、数据传输等领域发挥着越来越重要的作用。

图象压缩通常分为有损压缩和无损压缩,无损

压缩虽不会丢失信息,但压缩比较低;有损压缩则会损失一部分信息。但不管采用哪种压缩方法,图象在压缩过程中必须保证其客观和主观质量。据研究,参照人的一般视觉特点,若恢复图象的信噪比大于40dB,即便是专职的图象判读人员也难于觉察恢复图象与原图象的差别。如何既提高压缩比,又保证恢复图象的质量是人们急待研究的问题。本文提出了一种准无损压缩技术,则既能达到高压缩比,又能保

证图象质量(信噪比 $\geq 40\text{dB}$),因为它使用的编码方法是有损压缩,但在人的眼睛看来,恢复图象与原始图象并无差别,因此称之为无损压缩。这种无损压缩技术在卫星图象、医学图象等领域具有广泛的应用前景。

由于图象在采集、数字化和传输过程中常受到各种噪声的干扰,从而使数字图象中常包含大量噪声,其反映在图象上,就是噪声使原本均匀和连续变化的灰度突然变大或减小,易形成一些虚假的斑点、物体边缘和轮廓等。若数字图象中包含噪声,则不利

于对图象进行处理、分析和观察。实质上,噪声是一种无效数据,当今存在的许多图象压缩算法,如DPCM、JPEG、MPEG等,对含有噪声的数据的压缩效果通常是很差的。换言之,由于图象中存在的噪声对图象的压缩效率起了破坏作用,因而本文提出了一种基于噪声模型的无损子带编码方案,即对原始图象首先通过噪声模型进行二维低通滤波,去除掉其中的高频噪声,这样即可以提高信号的信噪比;然后再使用区域自适应子带编码算法进行编码,其编码过程参见图1。

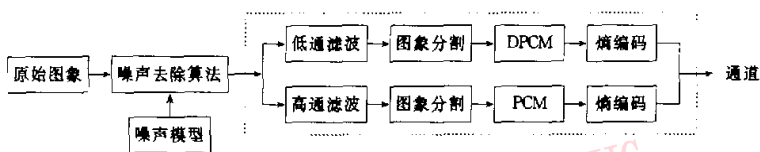


图1 编码过程

则卷积表达式为

$$g(u, v) = \sum_x \sum_y f(x, y) H(u-x+1, v-y+1)$$

试验中,采用3种冲击响应函数 H_1, H_2, H_3 ,得到3种不同的去噪声后的图象。其中

$$H_1 = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, H_2 = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$H_3 = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

实验结果表明,这种噪声模型不仅能够降低高频噪声,而且能消去高频干扰。如果已知图象的噪声源主要是高频成分,那么利用这种噪声模型去除噪声后可提高图象的信噪比。

2 区域自适应子带编码

算法中采用的区域自适应子带编码算法RASBC(Region Adaptive Subband Coding),具体描述如下:

(1)滤波 原始图象首先经分析滤波器分为几个子带,然后经合成滤波器合成,得到重建图象^[1,2]。在实验中,采用了Walsh子带分析/合成滤波器。经实验证明,Walsh子带分析/合成滤波器具有理想恢复特性,它的主要优点在于可减少存储空间和提高运算速度。因此采用这种分析/合成滤波器来实现滤波。在的实验中,主要对原始图象进行了二次滤波,

1 噪声模型

一幅图象可能受到各种噪声源的干扰,这种噪声源包括电子系统传感器噪声、数字化过程中带来的颗粒噪声、边缘抖动、坡度过载和信道误差等。其中,由传感器噪声或信道传输误差引起的图象噪声,通常表现为孤立像素的离散性变化,由于它不是空间相关的,因此有误差的像素常与它们的相邻像素显著不同。这种现象是许多噪声清除算法的基础。而且要有有效地处理信号中的噪声,就必须建立噪声模型,但如何建立噪声模型,从而有效地清除图象中的噪声,是一项具有挑战性的课题。本文中所采用的噪声模型是基于统计的模型。

常用的去除噪声的方法有空域和频域两大类,其主要算法有:邻域平均法、低通滤波法、多图象平均法等。本文算法是采用二维低通滤波法来清除原始图象中的噪声。从频谱上看,噪声,特别是随机噪声是一种具有较高频率分量的信号。而去噪声的目的就是通过一定的手段滤去这类信号。如低通滤波法就是一种频域处理法。本文算法中使用的方法就是使图象经过一个二维的低通数字滤波器,让高频信号得到较大的衰减。而在空间域上进行的这种滤波,实际上就是对图象和滤波器的冲击响应函数进行卷积。

设含有噪声的图象为 $f(x, y)$,去除噪声后的图象为 $g(u, v)$,滤波器的冲击响应函数为 $H(x, y)$,

共得到7个子带,其具体算法参见文献[8,9].

(2)检测边界 采用微分方法(具体方法参见文献[6]),检测各子带的水平、竖直、对角、反对角方向的边界[3].

(3)提取边界 提取边界区域,形成4个方向的子边界区域.

这里,提取第 (i, j) 子带边界区域 Δ_{ij} 的算法如下:①使用Canny方法[3]检测输入图象 $\{(m, n)\}$ 的边界;②对图象中所有的像素 (m, n) 分别进行检测,如果像素 (m, n) 是边界点,则把像素 $\left\{\left\langle \frac{m}{k_i} \right\rangle, \left\langle \frac{n}{l_j} \right\rangle\right\}$ 加入边界区域 Δ_{ij} 中,其中, $\left\langle \frac{m}{k_i} \right\rangle, \left\langle \frac{n}{l_j} \right\rangle$ 分别表示距离 $\frac{m}{k_i}$ 和 $\frac{n}{l_j}$ 最近的整数, k_i 和 l_j 分别表示第 (i, j) 子带的水平和竖直方向的子采样率(down-sampling);③对图象中所有的边界点 (m, n) 进行如下的判别,如果图象中存在像素 (m', n') 满足 $\max\{|m' - m|, |n' - n|\} \leq 1$,则把像素 (m', n') 加入边界区域 Δ_{ij} 中.

(4)SBC编码 对不同子带设计不同的编码方案.由于LFS的统计特性类似于原始输入图象,因此可使用传统图象编码技术(如,DPCM或变换编码)进行编码(在实验中是采用DPCM编码);而对于HFS,由于像素间相关性小,为减少计算开销,仅采用了PCM编码.

①对LFS各子区域设计不同的DPCM编码方案

DPCM(Differential Pulse Code Modulation)是差分脉冲调制编码之意,其概念最早由卡特勒提出.实验中采用的预测器为: $\hat{x}_{i,j} = ax_{i,j-1} + bx_{i-1,j-1} + cx_{i-1,j} + dx_{i-1,j+1}$,其中, a, b, c, d 是使MSE最小的预测系数.对于不同的子区域,其预测系数不同,量化器也不同,具体算法参见文献[4].

②HFS采用PCM编码方案

据研究,由于图象的能量大部分分布在低频子带,而高频子带像素间相关性较小,因此本文采用

PCM编码方案来对HFS进行编码,其具体算法参见文献[7].

(5)熵编码 算法中使用的熵编码是传统的哈夫曼编码,因为,如今这种编码方法已经发展得很完善,其具体的编码方法见文献[5],当然,也可采用其它熵编码,如游程长度编码和算术编码.

3 实验结果与展望

本文使用两幅图作为实验对象(图2,图3),其中一幅为Lena图象,另一幅为卫星云图.同时,实验中使用均方差RMSE、峰值信噪比PSNR和压缩比CR来作为判断重建图象质量好坏的标准.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$

对上述两图象直接进行区域自适应子带编码、去噪声后进行区域自适应子带编码、以及进行JPEG编码,其几项质量指标统计结果见表1:

表1 图象压缩结果比较

算法	实验图象	RMSE	PSNR(dB)	CR
未去噪声	Lena	1.968	42.230	3.996
	卫星云图	2.480	40.241	4.001
去噪声后 H_1	Lena	1.753	43.253	4.004
	卫星云图	2.362	40.666	4.028
去噪声后 H_2	Lena	1.707	43.485	4.017
	卫星云图	2.245	41.106	4.091
去噪声后 H_3	Lena	1.683	43.608	4.025
	卫星云图	2.206	41.258	4.111
JPEG	Lena	2.109	41.652	3.873
	卫星云图	2.553	39.991	3.910
SPIHT	Lena	2.478	40.25	8.0



图2 Lena原始图象、去噪声后的Lena图象及压缩后重建的Lena图象



图3 去噪后的卫星云图图像及经压缩编码后重建卫星云图图像

另外,本文算法的时间复杂度较 JPEG 低,若图像大小为 $n \times n$,其时间复杂度仅为 $O(n \times n)$,而 JPEG 的时间复杂度为 $O(n^2 \times n^2)$,用上述两种方法压缩时每个像素点所需的操作比较见表 2。

表2 算法复杂度比较

算法	乘除运算/pixel	加减运算/pixel	三角运算/pixel
本文算法(次)	6.99	13.25	0
JPEG(次)	128	64	128

由表 1 和表 2 可以看出,与 JPEG 图像编码技术相比,采用本文算法的优点主要有:①在同等压缩比的情况下,能获得较高的图像质量;②某一子带内的编/解码错误不会扩散到其它子带,因此具有较强的鲁棒性;③没有通常变换编码的块效应;④适于累进传输,可用于图像浏览;⑤运算时间复杂度较低,适合于进行实时图像压缩。

与未经去噪声处理的图像压缩算法相比,利用本文算法对图像进行压缩,在压缩比相近(略高)的情况下,不仅重建图像与原始图像间的均方误差 RMSE 有所下降,而且峰值信噪比 PSNR 提高了 1dB 左右。

与 SPIHT 算法相比,本文算法虽压缩效果略差,但编/解码时间较少(SPIHT 算法的编/解码时间参见文献[10]),故能实现实时图像压缩,可用于图像的实时传输(如卫星图像的传输)。

本文提出的准无损压缩是对有损压缩和无损压缩的一种权衡。由于产生噪声的因素有多种,因此噪声也有多种,但本文只对能够去除高频噪声的噪声模型进行讨论,而对其他类型的噪声,尚需研究其成因,进而建立合适的噪声模型,以便去除图像中的噪声,这是一项具有广泛应用前景和挑战性的研究课题。另外,从本文算法的理论基础来看,本文提出的噪声模型对于其他图像压缩算法(如 DCT、DPCM、JPEG、SPIHT、MPEG 等)同样具有推广意义,也就是说,通过这种噪声模型进行去噪处理后的图像,若

使用其它压缩算法,也同样可得到比原来更好的压缩效果。

参考文献

- 1 Oh-Jin Kwon, Rama Chellappa. Region adaptive subband image coding. IEEE Transaction on Image Processing, 1998, 7(5): 632~648.
- 2 Sullivan G J, Baker R L. Efficient quadtree coding of images and video. IEEE Transaction on Image Processing, 1994, 3(5): 327~331.
- 3 Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 1986, PAMI-6: 679~698.
- 4 高文. 多媒体数据压缩技术. 北京:电子工业出版社,1994.
- 5 Tenenbaum A M, Augenstein M J. Data structures using PASCAL. New Jersey: Prentice-hall, 1981: 275~284.
- 6 田村秀行. 计算机图像处理技术. 北京:北京师范大学出版社, 1986.
- 7 Floyd S P. Least square quantifying in PCM. Bell Lab Menno, 1957.
- 8 Manz J W. A sequency-ordered fast walsh transform. IEEE Transaction on Audio Elect, 1972, Au-20: 204~205.
- 9 Ching P C, Goodyear C C. Walsh-transform coding of the speech residual in RELP coders. Proc. Inst. Elect Eng. G, 1984, 131(1): 29~34.
- 10 Said A, Pearlman W A. A new, fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees. IEEE Transaction. on Circuits, System, and Video Tech., 1996, 6: 243~250.



李冬梅 1974 年生,浙江大学计算机系硕士研究生,主要研究方向为多媒体数据压缩技术。



杨长生 1945 年生,浙江大学计算机系教授,主要研究方向为多媒体数据压缩技术、控制器仿真技术及计算机体系结构等。