

文章编号: 1000-2022(2003) 01-0136-05

基于树状小波分解的图像混合编码方法

谢忠红, 傅德胜

(南京气象学院 计算机科学与技术系, 江苏 南京 210044)

摘要: 提出了一种基于树状小波分解的图像混合编码技术, 它能够在一定的能量准则下自适应地对图像进行分解, 并根据不同尺度子带在小波图像中的地位和特点, 选取相应的编码方法。模拟实验证明此方法在较好的图像质量情况下可获得较高的压缩比。

关键词: 小波变换; 树状小波; 矢量量化; 子带编码

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

随着计算机多媒体技术和数字通信技术的发展, 图像编码越来越成为信息处理研究中的一个重要领域。传统的变换编码(如 DCT 编码)是将空间域相关的像素点通过正交变换映射到另一个频率域上, 使变换后的系数间的相关性降低, 然后对变换后的信号进行量化和编码操作。然而由于传统的正交变换时频局域性差, 变换后的系数失去了对原图像精细结构的描述, 从而导致图像轮廓模糊, 严重影响了原图像的质量。传统变换编码的另一缺点是在高压缩比的情况下会出现明显的方块效应^[1]。

小波变换是一种信号的时间尺度分析方法, 它具有多分辨率分析的特点^[2], 在时频两域都具有表征信号局部特征的能力, 同时它还具有描述非平稳图像信号和适应人眼视觉特征的良好性质, 因而成为图像编码领域的一个热点。其基本原理是: 首先选择合适的小波函数和滤波器对图像作小波变换, 然后对变换后的小波系数进行量化编码。但传统的小波变换采用的是一种塔型(Pyramid-Structured)的信号分解方式, 即信号不断地在低频通道上进行分解, 而对其高频部分不再进行分解, 因而不能对高频部分细节进行更精细的分析。本文提出了一种基于树状小波分解的图像混合编码方法。具体是首先对图像进行自适应不完全树状小波分解, 然后根据各子带的能量、特点及其在小波图像中的地位选取编码。该方法不仅可以避免由于小波图像系数空间的松散分布结构所带来的编码冗余和复杂度, 而且可以较好地刻画系数间的相关性。

1 树状小波分解与塔型小波分解的比较^[3-4]

小波函数可以看成是带通滤波器的冲激响应, 小波变换则是将原始信号用一组不同尺度的带通滤波器进行滤波, 将信号分解到一系列频带上进行分析处理。数字图像处理中经常将小

收稿日期: 2002-02-04; 改回日期: 2002-05-16

基金项目: 21 世纪初高等教育教学改革项目(1282B05041)

作者简介: 谢忠红(1977-), 女, 江苏泰兴人, 硕士。

波变换作二进制离散化, 运用离散二进制小波可以对图像进行多频道、多分辨率分析。设 $\{V_j\}$ 是一张量积空间, $V_j^2 = V_j \otimes V_j$ 构成的 $L^2(R^2)$ 是一个多分辨率分析, 若 ϕ 和 ψ 分别为一维的尺度函数和小波函数, 则可定义二维尺度函数和二维可分离的小波函数为^[5]

$$\begin{cases} \phi^2(x, y) = \phi(x)\phi(y); & \psi^1(x, y) = \psi(x)\psi(y); \\ \psi^2(x, y) = \psi(x)\psi(y); & \psi^3(x, y) = \psi(x)\psi(y)。 \end{cases}$$

对任一图像 $f(x, y)$ 可以分解为一系列通道图像的组合, 如^[5]

$$\begin{aligned} & \{A_{2^{-j}} f(n, m) \{W_{2^j}^1 f(n, m), W_{2^j}^2 f(n, m), W_{2^j}^3 f(n, m)\} - j = J - 1\} (n, m) \quad z^2, \\ & A_{2^j} f(n, m) = (f(x, y) * \psi_j(-x, -y))(2^{-j}n, 2^{-j}m), \\ & W_{2^j}^1 f(n, m) = (f(x, y) * \psi^{1-3}(-x, -y))(2^{-j}n, 2^{-j}m)。 \end{aligned}$$

图像被分解为 2^{-j} 分辨率上的低频平滑图像和一个由 J 层图像细节信息构成的高频图像的金字塔结构(图 1)。其中 $A_{2^{-j}} f(n, m)$ 给出了 $f(x, y)$ 的低频分量的小波分解系数, 它是原图的一个近似, $W_{2^j}^1 f(n, m)$ 给出了 $f(x, y)$ 垂直方向的高频分量的小波分解, $W_{2^j}^2 f(n, m)$ 给出了 $f(x, y)$ 水平方向的高频分量的小波分解, $W_{2^j}^3 f(n, m)$ 给出了 $f(x, y)$ 对角方向的高频分量的小波分解。传统的塔型小波分解递归地对低频分量 $A_{2^j} f(n, m)$ 作分解而对高频分量不再分解。我们知道在一般图像中, 对应边沿轮廓位置附近含有大量高频信息, 它相对于原图像是非常局部的, 代表了图像数据的精细结构。按人眼的视觉特征, 这些边缘轮廓信息对于图像的主观质量是很重要的。基于上述讨论, 本文引入了一种有利于细节丰富的图像压缩的小波分解——不完全树状小波分解^[3-4]。

图 2 中 LL 为图像小波分解的低频信息, LH、HL 和 HH 分别为图像小波分解的竖直、水平和对角线方向的高频信息。图 3 中 CHH1、DHL1 为图像一级小波分解的对角线和水平方向的高频信息, BLH2、BHH2 和 BHL2 为竖直方向的二级小波分解的高频分量, BHL3、BLH3、BHH3 和 BLL3 为竖直方向的三级小波分解的高、低频分量, AHL2、AHH2 和 ALH2 为低频部分的二级小波分解, AHL3、ALH3、AHH3 和 ALL3 为低频部分的三级小波分解。这种小波分解方法不仅将低频部分 $A_{2^j} f(n, m)$ 进行分解, 而且根据图像的特征, 按子带能量自适应地对 $W_{2^j}^{1-3} f(n, m)$ 进行分解, 从而达到既保留图像的高频部分的重要细节又不增加计算复杂度的目的。我们选取图像变换矩阵的 2 范数 l_2 作为主要频段的能量函数, 不完全树状小波分解的步骤如下:

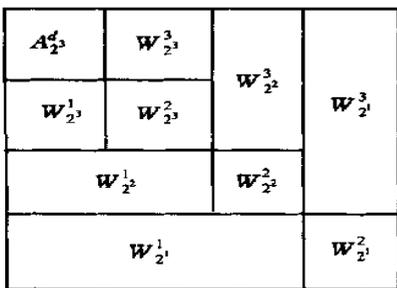


图 1 三级小波分解系数分布示意

Fig. 1 Schematic of third-order wavelet coefficients

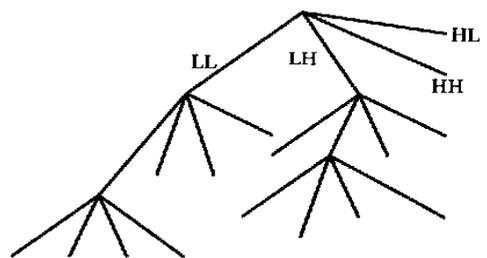


图 2 不完全树状小波分解树

Fig. 2 Tree of non-completed tree-structured wavelet decomposition

(1) 将一幅图像 $(N \times N)$ 分解成 4 个子图像 $(M \times M)$, 然后用能量标准分别对子图像进行计算, 若子图像系数为 $S(x, y)$, 则其能量为

$$E = 1/M^2 \sum_{x,y=0}^{M-1} S(x,y)^2$$

- (2) 四个子图像中能量最大的那个图像的能量表示为 E_{max} 。
- (3) 如果其他子带能量小于 CE_{max} ($0 < C < 1, C$ 为常数), 即子带能量太小, 则停止分解。
- (4) 如果子带能量大于或等于 CE_{max} 且该子带是能量仅次于 E_{max} 的子带, 则继续分解且重复步骤(2)、(3)和(4)。

2 混合型子带编码方案

经过不完全树状小波分解后, 可以看到一些高频子带能量相对于整个图像的能量而言较小, 只进行了一级或两级小波分解; 有一些高频子带相对于整个图像而言能量较高, 进行了多级小波分解。同时人类视觉对水平、垂直和对角线方向的敏感程度不相同, 因此如果对不同尺度不同方向的子带采用同一种编码方法, 必然会导致编码效率低、复杂度升高的后果。为了解决这一问题, 本文针对三级不完全树状小波分解地提出了一种混合编码方案(图 4)。

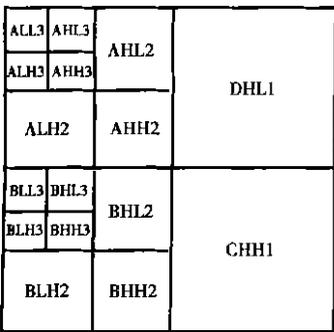


图 3 不完全树状小波分解频带分布

Fig. 3 Distribution of the bands of non-completed tree-structured wavelet decomposition

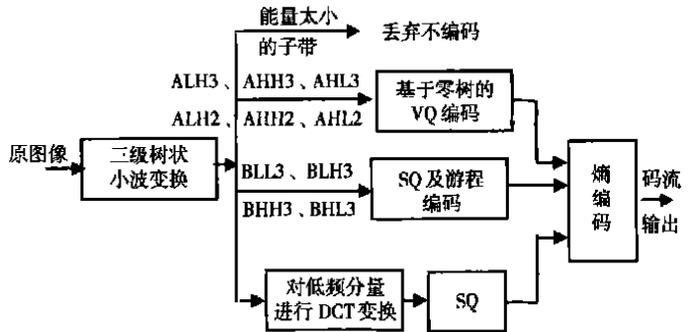


图 4 混合编码方法

Fig. 4 The mixed-coding way

基于不完全树状小波分解的混合编码方法, 具体步骤如下:

(1) ALL3 频带是小波图像中最重要的一个子带, 是原图像的一个近似。图像的能量大部分集中在这一频段, 该频段系数的编码性能将极大影响整个编码系统的图像恢复质量。对此频段, 本文采用独立编码手段, 即采用离散余弦变换(DCT)、“之”字型扫描、非均匀量化结合熵编码的方法进行编码。

(2) 由于 CHH1、DHL1、BLH2、BHH2、BHL2 五个小波子带包含能量极少而且又是图像最精细节刻画, 人眼对之并不敏感, 因此全部抛弃。

(3) ALH2、AHH2、AHL2、ALH3、AHH3、AHL3 这六个频带在所有高频子带中的数据量较大且所占的能量较多, 对人眼的视觉相当重要, 而且这些频带系数分布相对密集, 零码区域较小, 是影响整个编码效率的核心数据。同时考虑到小波系数的空间分布特征以及其多分辨率的组织特点, 本文采用矢量量化(VQ)技术对这六个子带进行编码。码矢维数分别选用 $2 \times 2, 2 \times 2, 2 \times 2, 4 \times 4, 4 \times 4, 4 \times 4$, 码本大小均为 256, 训练集来源于标准图像 pine, girl, 采用模糊竞争学习方法训练出上述六个区所需的六本码书。设 $V_1 = \{ALH3, AHH3, AHL3\}, V_2$

{ALH2, AHH3, AHL2}, V_1 和 V_2 处于相同的空间位置和相同的方向。下面以 V_1, V_2 两个区的编码为例说明基于零树的编码方法^[6]。

a) 设定阈值 $L_2 > L_1 > 0$;

b) 将 V_1, V_2 区分别分成互不重叠的中间模板块, 并组成相应的矢量 $I_i, J_i, i = 1, 2, \dots, n$;

c) for $i = 1$ to $n, k = 0$; for $j = 0$ to 3, if ($I_i(j) < L_1$) 则 $k = k + 1$; if ($k = 4$), 用一个比特 '0' 标识 I_i 和 J_i ; 否则选用比特 '1' 标识 I_i , 再用给定码书对 I_i 量化, 得索引图 $\text{Image}(I_i)$, 转 d) 步骤;

d) $k = 0$; for $j = 0$ to 15, if ($J_i(j) < L_2$), $k = k + 1$; if ($k = 16$), 用一个比特 '0' 标识 J_i , 否则选用比特 '1' 标识 J_i , 再用给定码书对 J_i 量化, 得索引图 $\text{Image}(J_i)$ 。if ($i = n$), 转 e) 步骤, 否则转 c) 步骤;

e) 输出码流, 编码结束。

(4) 因为 BLL3、BLH3、BHH3、BHL3 这几个子带得到小波图像竖直方向细节更精细深入的刻画, 所以对于竖直细节丰富的图像, 这些频带是非常重要的。为了达到保留这些细节又不过多增加复杂度的目的, 本文采用了 SQ (标量量化) 及游程编码方法组织其系数。

3 模拟试验

采用 256×256 的 8 bit 灰度图像对系统性能进行模拟测试。首先对图像进行三级不完全树状小波分解, 然后对各子带进行混合编码, 结果见表 1。松树(pine)原图像见图 5a, 重构图像见图 5b, 压缩比为 56%, 信噪比为 21.2 dB。另外采用 JPEG 算法进行比较, 仿真结果见图 5c, 试验结果比较见表 1。实验证明本文提出的方法是有效可行的。



图 5 原图像(a)、重构图像(b)与仿真图像(c)

Fig. 5 Original (a), rebuilt (b) and emulated (c) graphs

表 1 混合编码结果

Table 1 The result of coding

原图像	树状小波分解混合编码法		JPEG 算法	
	压缩比/ %	信噪比/ dB	压缩比/ %	信噪比/ dB
pine	56	21.2	49	20.6
girl	61	32.6	57	30.1

4 结 语

本文提出了一种基于树状小波分解的混合编码技术,该方法综合考虑了小波分解的多尺度、多方向性,并根据能量准则对图像进行不完全树状小波分解。最后根据不同尺度子带在小波图像中的地位和特点,选取相应的编码方法。实验证明此方法是有效可行的,可广泛应用于图像存储和传输。

参考文献:

- [1] 傅德胜,寿益禾. 图形图像处理学[M]. 南京:东南大学出版社,2002.
- [2] 马维祯. 利用子波变换的图像压缩编码技术[J]. 信号处理,1995,11(3):129-138.
- [3] Chang T, Kuo C C J. Texture analysis and classification with tree-structured wavelet transform[J]. IEEE Tran Image Processing, 1993, 3(4): 429-441.
- [4] Pichler O, Teuner A, Hosticka B J. A comparison of texture feature extraction using adaptive gabor filtering, pyramidal and tree structured wavelet transforms[J]. Pattern Recognition, 1996, 29(5): 733-742.
- [5] 李建宁. 小波分析与信号处理[M]. 重庆:重庆出版社,1997.
- [6] Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients[J]. IEEE Trans On S P, 1993, 12, 41(12): 3 445-3 461.
- [7] 徐 勇,陈贺新,戴逸松. 图像的模糊竞争是量化方法[J]. 中国图像图形学报,1997,2(7): 493-494.

An Algorithm for Image Coding Method Based on Tree-Structured Wavelet Decomposition

XIE Zhong-hong, FU De-sheng

(Department of Computer Science and Technology, NIM, Nanjing 210044, China)

Abstract: An algorithm for image coding method is introduced based on tree-structured wavelet decomposition. According to some special energy rules, it can decompose adaptively the images. It also can choose proper coding method in accordance with the characters and positions of subbands in wavelet-image. The experiment shows that the new method can obtain high compression ratio under the circumstances of high image quantization.

Key words: wavelet transform; tree-structured wavelet; vector quantization; subband coding