

吴艳. 基于小波变换的核桃叶片图像编码优化算法研究[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(1): 363-365.

# 基于小波变换的核桃叶片图像编码优化算法研究

吴艳

(新疆农业大学计算机与信息工程学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 由于多媒体技术和网络技术的不断发展, 静态图像压缩编码被广泛应用于多媒体和网络技术, 然而静态图像在存储和传输方面占用了大部分资源, 造成不便。基于小波变换对核桃叶片图像进行多分辨率分解, 对比研究 haar 和 bior3.7 算子对静态图像的编码, 通过峰值信噪比和压缩前后比特数衡量图像编码效果, 对不同层次的小波分解采用不同的量化电平, 给出了基于 bior3.7 的小波图像编码优化算法, 结果表明基于 bior3.7 的小波图像压缩效果更佳, 但压缩质量较 haar 压缩差。

**关键词:** 图像; 压缩编码; 小波算法; haar; bior3.7

**中图分类号:** S126; TN919.81 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)01-0363-03

信息是现代社会的媒介, 其中重要的媒介是图像。随着计算机技术、离散数学理论以及智能自动化的发展, 数字图像处理被广泛应用于各行各业。图像信息是人类获得外界信息的主要来源, 数字图像的一个显著特点是大的数据量, 图像处理即在大量复杂的图像信息中找出所需要的信息, 因此图像信息处理显得尤为为重要。通常提到的数据压缩技术主要有 2 类: 第 1 类方法是基于速率-失真理论, 由 1 组像素值来表示图像; 第 2 类方法是利用按边缘信息将某特定图像分割成的若干区域的集合来表示图像。静态图像压缩方法是采用一般信号分析的方法消除数据中的冗余, 最终使得用来表示图像的一组数据互不相关。

小波分析是一个图像分析与处理的新领域, 较传统的、基于全局性变化的傅里叶变换而言, 小波变换是针对空间(时间)和频率的局部变换。小波变换通过多尺度细化分析可以有效地将信息从信号中提取出来, 很大程度上克服了傅立叶变换的局限性。

## 1 图像压缩编码

图像编码与压缩从本质上来说就是对要处理的图像数据按一定的规则进行变换和组合, 从而以尽可能少的代码或符号来表示尽可能多的数据信息。压缩通过编码来实现或者说是编码带来压缩的效果。图像是一种二维的连续函数, 对图像进行数字处理时, 首先必须对其在空间和亮度上进行数字化, 这就是图像的采样和量化的过程。空间坐标  $(x, y)$  的数字化称为图像采样, 而幅值数字化称为灰度级量化。图像是对图像空间坐标的离散化, 它决定了图像的空间分辨率。对一幅图像采样时, 若横向像素为  $M$  个, 纵向像素为  $N$  个, 则图像大小为  $M \times N$  个像素;  $f(x, y)$  表示点  $(x, y)$  处的灰度值, 则  $F(x, y)$  构成一个  $M \times N$  实数矩阵<sup>[1]</sup>:

$$F(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

将小波变换应用于图像编码的基本思想是对图像进行多分辨率分解, 首先将图像分解成空间、频率都不同的子图像, 再对分解后得到的子图像进行系数处理。需要注意的是, 经小波变换后所生成图像的数据总量与原始图像的数据总量是相等的, 即图像在变换前后所占的资源空间并未改变。本研究将小波变换应用于图像的压缩, 考虑的是子图像系数处理后能量主要集中在低频部分, 而其他 3 个(水平、垂直和对角线)部分的能量较少。

## 2 小波图像分解与重构

### 2.1 离散余弦变换

离散余弦变换(DCT)将一幅图像从空域变换为频域。DCT的功能是将一副图像的大部份重要信息集中在少数几个 DCT 系数上, 由此减少大量的图像空间冗余。鉴于这个特征, DCT 常常被使用在图像压缩中。

一个  $M \times N$  的矩阵  $A_{mn}$  的二维离散余弦变换被定义为<sup>[2]</sup>

$$B_{pq} = \alpha_p \alpha_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn} \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}, \quad 0 \leq p \leq M-1, 0 \leq q \leq N-1 \quad (2)$$

其中,  $\alpha_p = \begin{cases} 1/\sqrt{M}, & p=0 \\ \sqrt{2/M}, & 1 \leq p \leq M-1 \end{cases}, \alpha_q = \begin{cases} 1/\sqrt{N}, & q=0 \\ \sqrt{2/N}, & 1 \leq q \leq N-1 \end{cases}$ ,

$B_{pq}$  即为 DCT 系数。

离散余弦变换是一个可逆变换, 其对应的逆变换为

$$A_{mn} = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} \alpha_p \alpha_q \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}, \quad 0 \leq m \leq M-1, 0 \leq n \leq N-1 \quad (3)$$

离散余弦反变换可以解释为对任意  $M \times N$  的矩阵  $A$  可以写成  $M \times N$  函数和的形式:

$$\alpha_p \alpha_q \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}, \quad 1 \leq p \leq M-1, 1 \leq q \leq N-1 \quad (4)$$

收稿日期: 2013-06-03

基金项目: 新疆农业大学前期资助课题(编号: XJAU201010)。

作者简介: 吴艳(1981—), 女, 新疆哈密人, 硕士, 讲师, 主要从事计算机应用图形图像处理研究。E-mail: wuyan\_y@126.com。

这些函数被称为离散余弦变换的基函数。DCT 系数  $B_{pq}$  可以看作是对每一个基函数的权重。

## 2.2 小波分析

在小波分析中尺度函数  $\phi$  和小波函数  $\varphi$  组成了一个函数族,用于分解或重构一个信号。一般将  $\phi$  称为“父小波”,而将  $\varphi$  称作“母小波”。尺度函数和小波函数定义如下:

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (5)$$

$$\varphi(x) = \phi(2x) - \phi(2x - 1) \quad (6)$$

设  $V_j$  为空间  $\sum_k a_k \phi(2^j x - k)$ ,  $a_k \in R$ , 其中  $k$  为一列可正可负的整数。设  $W_j$  为空间  $\sum_k a_k \varphi(2^j x - k)$ , 其中  $V_{j+1} = V_j \oplus W_j$  成立,持续分解  $V_j, V_{j+1}, \dots$ , 可得到表达式:

$$\begin{aligned} V_j &= W_{j-1} \oplus V_{j-1} = W_{j-1} \oplus W_{j-2} \oplus V_{j-2} \\ &= \dots = W_{j-1} \oplus W_{j-2} \oplus \dots \oplus W_0 \oplus V_0 \end{aligned} \quad (7)$$

因此,空间每一个函数  $f$  都可以被唯一地分解成函数和的形式:

$$f = w_{j-1} + w_{j-2} + \dots + w_0 + f_0 \quad (8)$$

## 2.3 多尺度分析

利用式(5)对  $\{V_j, j \in Z\}$  进行多尺度分析,对任意的整数  $j$ , 函数组  $\{\phi_k(x) = 2^{-\frac{j}{2}} \phi(2^j x - k); k \in Z\}$  构成  $V_j$  的一个正交基。利用  $\phi(x) = \sum_k p_k \phi(2x - k)$  对  $\{V_j, j \in Z\}$  进行多尺度分析,令  $W_j$  空间为  $\{\varphi(2^j - k), k \in Z\}$ , 其中,  $\varphi(x) = \sum_k (-1)^{p_{1-k}} \varphi(2x - k)$ , 则空间  $W_j$  是空间  $V_{j+1}$  中与  $V_j$  正交的部分。此外,  $\{\varphi(x) = 2^{-\frac{j}{2}} \varphi(2^j x - k), k \in Z\}$  是空间  $W_j$  的一个正交基分解与重构公式<sup>[3]</sup>。

相应的分解和重构公式如下:

分解公式:

$$\begin{cases} a_k^{j-1} = 2^{-1} \sum_k p_{k-2j} a_k^j \\ b_j^{j-1} = 2^{-1} \sum_k p_{k-2j} a_k^{j-1} + \sum_j (-1)^k p_{1-k+2j} b_j^{j-1}; \end{cases} \quad (9)$$

重构公式:  $a_k^j = \sum_k p_{k-2j} a_k^{j-1} + \sum_j (-1)^k p_{1-k+2j} b_j^{j-1}$ 。

对于图像的分解问题,一般都把图像分解为水平分量、垂直分量、对角分量、低频分量 4 个部分,一般需对图像做 2 次变换方能实现 1 次分解。

## 3 小波变换

### 3.1 二维小波变换

小波变换是一个在许多不同的尺度和方向上对信息进行分解的体系。一维小波变换通过 1 对滤波器来定义,在数据为奇或偶时分别与其作卷积运算。对于二维小波变换,首先在水平方向作 1 次一维变换,然后在垂直方向上作 1 次一维变换,通过 2 次一维变换后,将图像分解为水平分量、垂直分量、对角分量和低频分量。每一级变换中的低频分量可以再次进行分解进一步去除图像的相关性,一般只进行 4 次分解。除了各种变换级数之外,当用户需要零级变换时,原始图像数据被认为是低通带并且按照通常的数据流处理。

### 3.2 图像量化处理

针对原始图像进行小波变换,其中包括小波变换、数字转换器量化的过程。小波变换后系数处理的一般方法为量化、重排列以及熵编码。量化的目的是依据人类的视觉系统特

性,通过减少人眼无法感知的高频成分来达到压缩图像数据的目的。量化对图像进行的是有损压缩,是唯一产生能量损失的步骤,会很大程度上影响重建图像的质量;重排列则是对图像数据重新排列,该步骤依据的主要是频带分布相似性或重要性级别等性质;熵编码是一种无损压缩操作,该步骤的目的是为了进一步减少变换后图像的数据量。

在基于小波的图像压缩中一般采用非均匀量化,对不同层次的分解采用不同的量化电平。分解后的图像分为 4 个部分:水平分量、垂直分量、对角分量及低频分量。低频部分细节丰富,对其使用量化台阶大的量化器,而对其他几个部分采用量化台阶小的量化器。

为了获取一个高效的小波算法,尽可能地排除许多不必要的计算量是十分重要的。对小波的正变换和逆变换作仔细的验证,可以发现不完全的运算不是导致数据被破坏就是为无效运算。

## 4 图像编码评价

在图像编码中,编码质量非常重要,图像编码的目的是以尽可能少的比特数来存储或传输一幅图像,同时又让接受者感到满意。对于有失真的压缩算法,最常用的一个准则是输入图像和输出图像之间的均方误差或均方根误差<sup>[4]</sup>。

设  $f(i, j)$  ( $i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M$ ) 为原始图像,  $\hat{f}(i, j)$  ( $i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M$ ) 为压缩后的还原图像,则  $f(i, j)$  和  $\hat{f}(i, j)$  之间的均方误差 (EMS) 定义为

$$E_m = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2 \quad (10)$$

如果对式(10)求平方根,就可以得到  $f(i, j)$  和  $\hat{f}(i, j)$  之间的均方根误差 (ERMS), 即

$$E_{rms} = \sqrt{E_m} \quad (11)$$

另一种关系更紧密的客观评价准则是输入图像和输出图像之间的均方信噪比, 定义为

$$SNR = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f(i, j)]^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2} \quad (12)$$

除了均方根信噪比,最常用的信噪比是峰值信噪比 (PSNR), 设  $f_{\max} = 2^k - 1$ ,  $k$  为图像中表示一个像素点所用的二进制位数,则峰值信噪比定义为

$$PSNR = 10 \lg \left[ \frac{NM f_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2} \right] \quad (13)$$

### 4.1 小波图像压缩编码

本研究以核桃叶片为例,借助 PC 和 MATLAB 工具,分别对比 haar 算子和 bior 3.7 算子对图像的压缩编码。MATLAB 中实现的图像压缩主要包括获取压缩阈值和进行图像压缩 2 个方面。实现获取压缩阈值的函数有 ddencomp 和 wdcbm2; 实现图像压缩的函数有 wdencomp、wpdenem 和 wthcoef2, 量化编码函数有 wcdemat。

本研究采用小波压缩核桃叶片图像,主要分为以下 5 步:

(1) 使用 rgb2gray 把核桃叶片图像转为灰度图像,采用 wdencomp('lvd', coeffs, sizes, 'haar', level, thrSettings, sorh) 对核桃叶片进行降噪处理,具体如图 1 所示。

(2)采用 haar 算子对核桃叶片进行压缩处理,得到相应的图形参数,如尺寸、比特数等。由于小波变换并不改变原始图像的数据总量,本研究采用峰值信噪比来衡量压缩前后图像的效果。

(3)采用 bior3.7 算子对核桃叶片的信息进行分层分解,在 HIS 空间里,核桃叶片 I 亮度分量对于核桃叶片图像的信息量最大,核桃叶片图像信息量主要集中于低频信息,对核桃叶片进行低频和高频信息的第 1 层分解,采用 wcodemat 函数

进行量化编码,并可适当改变图像高度以对比压缩前后质量。

(4)采用 bior3.7 算子对核桃叶片图像进行第 2 层低频信息的分解并压缩,进一步压缩冗余的信息量,尽可能地使用来表示核桃叶片图像的一组数据是互不相关的。

(5)根据核桃叶片本身图像特征,采用不同的量化电平值,对比上述 haar 算子和 bior3.7 算子,分别用压缩前后峰值信噪比和压缩前后比特数衡量图像编码效果。

由上述流程可得图像压缩结果如图 1 所示。

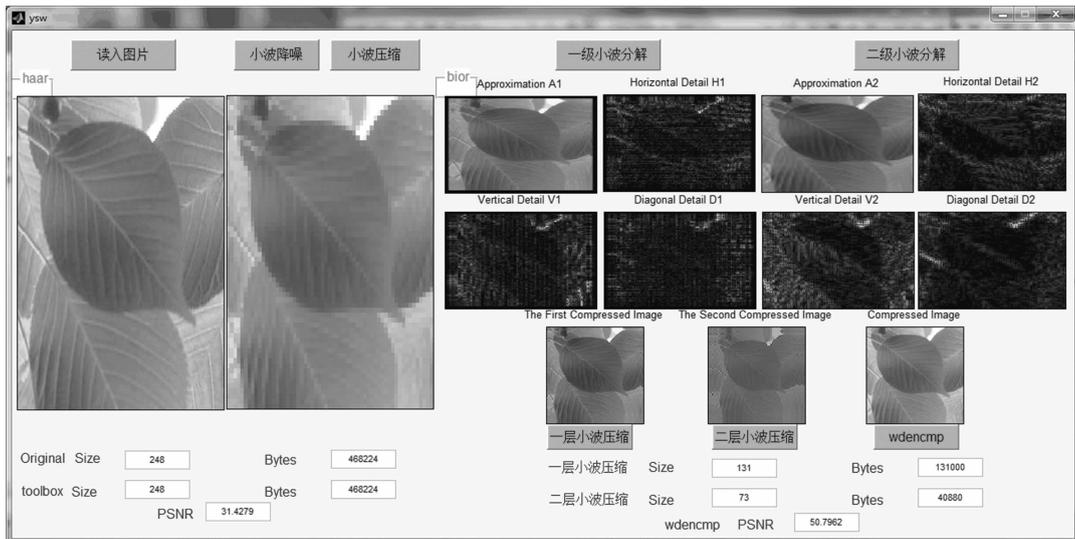


图 1 基于小波的图像压缩

采用不同小波算法压缩得到相应的编码图像,图像具体属性见表 1。从表 1 可以看出,经过 haar 降噪和压缩编码后的核桃叶片图像与原图像数据量相等,峰值信噪比较大,接近 36,图像压缩后所占比特数与原图像相当,压缩编码效果较

差;而 bior3.7 算子采用了分层分解和压缩方法,压缩前后比特数明显下降,压缩效果较好。采用 bior3.7 算子,基于 haar 的 wdecmp 函数压缩,得到的峰值信噪比为 50.796 2,压缩质量较好,但是编码质量较 haar 压缩编码差。

表 1 小波压缩图像属性

小波算法	图像	尺寸	比特数	类型	PSNR
haar	压缩前图像 X	256 × 256	468 224	double	31.427 9
	压缩图像 X	256 × 256	468 224	double	
bior3.7	压缩前图像 X	256 × 256	524 288	double	50.796 2
	第 1 次压缩图像 ca1	131 × 131	131 000	double	
	第 2 次压缩图像 ca2	73 × 73	40 880	double	

## 5 结束语

对冗余的图像信息采用小波变换能较好地实现图像的压缩编码,本研究以核桃叶片静态图像为例,全面而系统地分析了小波算法在图像压缩编码中的应用,根据核桃叶片图像信息特征,综合对比了 haar 算子和 bior3.7 算子,采用不同的量化电平针对不同层次的图像信息进行分解,结果表明基于 bior3.7 的小波图像压缩效果更佳,但压缩质量较 haar 压缩差。

## 参考文献:

- [1] Boggess A, Narcowich F J. 小波与傅立叶分析基础[M]. 北京:电子工业出版社,2002:221-223.
- [2] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京:科学出版社,2001:22-89.
- [3] Natonini M. Image coding using wavelet transform[J]. IEEE Trans Image Process,1992,1(2):205-220.
- [4] 胡春玲,陈义宽,马常楼. 图像编码时小波基的选择[J]. 中国图像图形学报,1998,3(9):742-745.