

# 基于小波变换的结构矩阵矢量量化压缩方法\*

黄艳\*\* 刘钊 肖忠 向敬成

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

**【摘要】** 提出了一种基于小波变换的结构矩阵矢量量化方法。该方法利用图像经过小波变换后,不同分辨率级子图像之间存在相似性,将已生成的第  $m$  级图像的分类信息传递给第  $m-1$  级图像,并利用各子图像的结构特性,对矢量量化后的编码结果采用结构矩阵的方法进一步压缩。实验表明该方法在较好图像质量的情况下获得了高压缩比,和有关文献给出的结果进行比较,该算法具有较好的性能。

**关键词** 小波变换; 矢量量化; 结构矩阵; 自适应算术编码

**中图分类号** TN911

图像压缩是信息处理技术研究中最为活跃的领域之一,基于小波分析的压缩方法是目前的研究热点。小波分析方法的基本思想是将图像进行多分辨率分解,分解成不同空间、频率的子图像,然后再对子图像进行系数编码,系数编码是小波分析方法研究的核心。图像经小波变换后,系数的分布具有一定的特点,这些特点能够较好地被矢量量化(VQ)方法利用。本文利用不同分辨率级相同方向子图像之间的相似性,将已生成的第  $m$  级图像的分类信息传递给第  $m-1$  级图像,并利用各子图像的结构特性,对矢量量化后的编码结果采用结构矩阵的方法进一步压缩,提高了压缩比。

## 1 图像的小波分解

小波变换是一种非平稳信号的分析方法,其基本思想是以小波函数  $\psi_{a,b}(t)$  为基底对信号  $f(t)$  进行分解

$$Wf(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi_{a,b}(t) f(t) dt \quad (1)$$

式中 小波函数是由同一基底函数  $\psi$  经平移、伸缩而得到的一组函数

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left[\frac{t-b}{a}\right] \quad a,b \in R \quad a \neq 0 \quad (2)$$

式中  $\psi$  为基小波;  $a$  为伸缩因子;  $b$  为平移因子。多分辨率分析的小波分解式为

$$\begin{cases} c_k^{j-1} = \sum_l a_{l-2k} c_l^j \\ d_k^{j-1} = \sum_l b_{l-2k} c_l^j \end{cases} \quad (3)$$

重构式为

$$c_k^j = \sum_l [p_{k-2l} c_l^{j-1} + q_{k-2l} d_l^{j-1}] \quad (4)$$

数字图像小波变换的实现方法为二维 Mallat 算法,其中采用了可分离的滤波器设计,实质上是分别对图像数据的行和列作一维小波变换<sup>[1]</sup>。通过分别进行水平和垂直滤波,离散小波变换将原始图像分为四个子带:垂直和水平方向的低频子带  $LL_1$ , 水平方向的低频和垂直方向的高频子带  $LH_1$ , 水平方向的高频和垂直方向的低频子带  $HL_1$ , 垂直和水平方向的高频子带  $HH_1$ 。对低频子

2000年6月12日收稿

\* 电子部预研基金资助项目

\*\* 女 24岁 硕士生

带  $LL_1$  再进一步分解, 又可得到更低分辨率的四个子带  $LL_2, LH_2, HL_2, HH_2$ 。如此反复, 可对图像进行多级分解。

### 2 分类矢量量化(CVQ)

小波图像高频子带除包括图像的边缘轮廓外, 还有大量的非轮廓区域, 系数的动态范围很小, 大部分取值为0, 对视觉的作用不大。如果能够区分这些信息并采用不同的方法编码, 那么编码效率会有很大提高。

为了简化算法, 只将高频子带系数分为平坦矢量和非平坦矢量, 根据图像压缩理论, 由于平坦矢量中含有大量0, 可以丢弃, 只对非平坦矢量作 VQ。矢量分类规则采用当矢量  $X$  的方差  $E\{[x - E(x)]^2\}$  大于指定阈值  $T$  时,  $X$  属于非平坦矢量, 反之,  $X$  属于平坦矢量。  $T$  的取值与要恢复图像的质量以及压缩比有关, 应综合考虑图像的质量和压缩比这两个因素。分类以后, 采用  $K$ -均值算法, 通过训练产生相应的码书。训练矢量来自多幅相似场景的图像, 由最近距离准则, 最终合并为统一的码书。

分类以后需要对矢量分类信息进行编码传输, 这样会影响压缩比的提高。本算法利用不同分辨率级相同方向子图像之间的相似性, 将已生成的第  $m$  级图像的分类信息传递给第  $m-1$  级图像。具体方法为: 定义第  $m$  级子图像的矢量块尺寸为  $n \times n$ , 选择第  $m-1$  级子图像矢量块的尺寸为  $2n \times 2n$ , 则第  $m$  级和第  $m-1$  级相同方向子图像具有相同数量的矢量。应用第  $m$  级子图像矢量的分类信息代替第  $m-1$  级相同子图像的相应位置矢量的分类信息, 这样就降低了传输分类信息所需的比特数, 在整个编码过程中只需要传送最低分辨率级子图像的分类信息。实验证明此方法是可靠的。

经过 CVQ, 编码器根据均方误差准则, 在码书中对输入图像进行矢量匹配。编码结果是原图像矢量对应的码书中矢量的码书序号, 然后对码书序号进行编码。

### 3 结构矩阵

图像经过小波分解形成一系列子图像, 因为每一级分解的低频部分系数的分布与原图像像素的分布相同, 因此经过相同的低通和高通滤波器相卷积形成的图像在同一方向上必然具有相似性。利用这一特性, 可以考虑对高频子带的编码结果进行进一步压缩。

本文提出了一种结构矩阵的方法, 如图1所示, 以二级分解  $HL_x$  子带为例说明小波分量间的空间相似性并构造相应的结构矩阵。

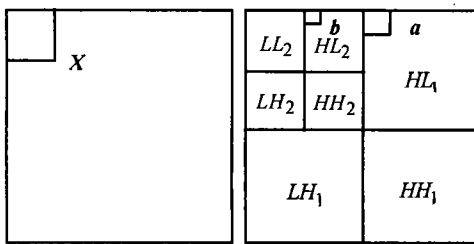


图1 二级小波分解示意图

$$M_{AB} = \begin{matrix} & \text{矢量 } b \text{ 的编号} \\ & \begin{matrix} 0 & \dots & n & \dots & (N-1) \\ & & \vdots & & \\ & & \vdots & & \\ m & \dots & P_{mn} & \dots & \\ & & \vdots & & \\ (N-1) & & \vdots & & \end{matrix} \\ \text{矢量 } a \text{ 的编号} \end{matrix}$$

图2 结构矩阵

在图1中,  $a$ 、 $b$  是矢量量化过程中形成的两个矢量, 分别属于两个小波子带, 其空间位置相对应。下面通过结构矩阵来描述每两个小波分量间可能的组合, 假定  $HL_1$  和  $HL_2$  矢量量化码书长度为  $N$ 。用  $M_{AB}$  表示  $HL_1$  和  $HL_2$  间的结构矩阵, 其结构如图2所示。行标  $m$  代表  $HL_1$  中矢量  $a$  的码书序号, 列标  $n$  代表  $HL_2$  中矢量  $b$  的码书序号,  $P_{mn}$  表示当  $a$  的序号取  $m$ ,  $b$  的序号取  $n$  时的出现概率, 对  $HL_1$  和  $HL_2$  中所有矢量进行量化并统计结果获得相应的  $P_{mn}$ , 所得到的矩阵  $M_{AB}$  反映了  $HL_1$

和  $HL_2$  之间相应矢量的组合情况。对  $P_{m,m}$  的结果再采用自适应算术编码，可以获得比以前更大的压缩比，而且不会影响矢量编号。

### 4 算法描述

图像编码的结构框图如图3所示。下面以  $512 \times 512 \times 8$  bit 的灰度图像为例对此算法进行分析。

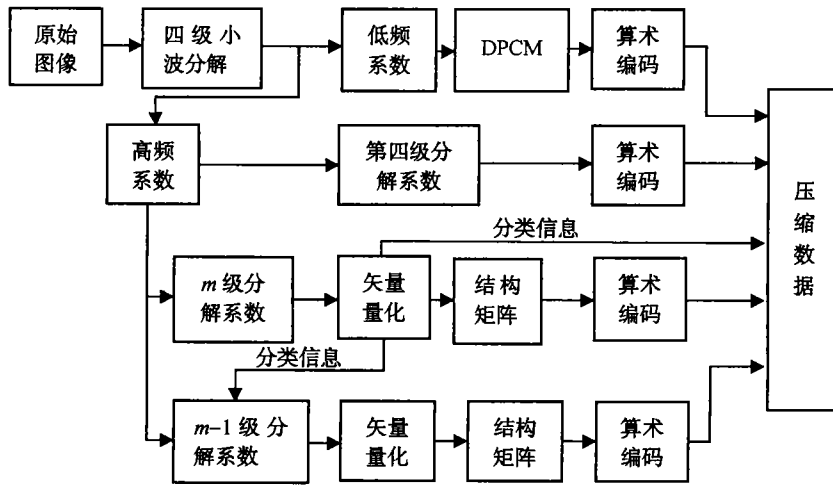


图3 编码框图

首先将原始图像进行四级离散小波分解，分解时低频子带是和第四级高频子带均采用自适应算术编码方法，余下的各个高频子带均采用 CVQ。根据各个子带的特点来设计码书的大小、矢量的维数以及码矢的各个分量。级数越高，子带系数冗余越小，所含的细节信息对人眼越重要，码书可相应增大。各个子带按其方向特性组织码书矢量的各个分量，例如， $HL_x$  应按水平顺序安排码矢的各个分量。经这样处理后的矢量规律性强，有利于提高 VQ 的编码质量。由于人眼对水平和垂直方向细节的敏感度大于对角方向，因此  $HH_x$  组频带允许较大的量化误差，可选用较少的码书数或更高的维数。CVQ 后，采用结构矩阵结合算术编码的方法对编码结果进一步压缩，本算法中利用  $HL_3$  来约束  $HL_2$  和  $HL_1$ ， $LH_3$  约束  $LH_2$  和  $LH_1$ ， $HH_3$  约束  $HH_2$  和  $HH_1$ 。

### 5 实验结果与性能比较

训练矢量来自三幅  $512 \times 512 \times 8$  bit 头部灰度图像，通过训练可以获得各个高频子图像的相应码书和不同分辨率级相同方向子图像之间的结构矩阵。文中采用峰值信噪比 PSNR 作为量化图像的客观质量测度，对  $512 \times 512 \times 8$  bit lena 图像进行实验，小波变换采用文献[2]中的8阶滤波器参数。图4a、4b 分别给出 lena 原图像和采用文中算法压缩后恢复的图像，与其他文献给出的结果比较如表1所示。

从图4可看出，采用本文方法实现简单，重建图像除边缘有轻微失真外，其他部分无明显失真，在压缩比很大的情况下，仍能获得较高的信噪比，图像质量令人满意，证明此方法是可行的。从表1可看到，用本文方法进行图像压缩获得的结果和表中文献的结果相比较，压缩比和图像质量都有一定的提高。



(a) lens 原图

(b) 采用本文的编码方法

图4 原图和压缩后恢复图像的比较

表1 编码结果和其他算法的比较

	文献[3]	文献[4]	文献[5]	文献[6]	本文方法
PSNR/dB	31.80	30.20	29.11	30.23	32.06
bit rate/bpp	0.32	0.17	0.21	0.13	0.14

## 参 考 文 献

- 1 陈培松, 刘 剑. 高压缩的图像压缩方法. 电子科技大学学报, 1997, 26(4): 86~89
- 2 Daubechies I. Orthonormal bases of compactly supported wavelets. Commu Pure Appl Math, 1988, XLI: 909~996
- 3 Huh Y. Block wavelet transform coding of images using classified vector quantization. IEEE Trans Circuits and Systems for Video Tech, 1995, 5(1): 63~67
- 4 Barland M. Pyramidal lattice vector quantization for multiscale image coding, IEEE Trans, 1994, IP-3(4): 55~60
- 5 Aantonini M. Image coding wavelet transform. IEEE Trans IP, 1992, IP-1(2): 66~72
- 6 Shapiro J M. Embeded image coding using zerotrees of wavelets coefficients. IEEE Trans Signal Processing, 1993, SP- 41(12): 3 445~3 462

## A Structure Matrix Vector Qutization Scheme Based on Wavelet Transform

Huang Yan Liu Zhao Xiao Zhong Xiang Jingcheng

(College of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** In this paper, a structure matrix vector quantization algorithm based on wavelet transform is proposed. After the multiresolution pyramidal decomposition of wavelet transform, the similarity among the wavelet coefficients of subbands is obtained, and transmit the dividing information of the subband  $m$  to the subband  $m-1$ . After classifying vector quantization, the results are more compressed by structure matrix based on the structure specialty of the subbands Experiments show that the algorithm performs better than others in the aspects of high compression ratio and high image quantization.

**Key words** wavelet transform; vector quantization; structure matrix; adaptive arithmetic coding