

# 基于小波轮廓波变换的图像压缩算法

方辉 郑春燕 尹忠科 王建英

(西南交通大学信息科学与技术学院 成都 610031)

(fanghui2002@163.com, zhengchunyan\_03@163.com)

**摘要:** 小波的 Contourlet 变换改进了 Contourlet 变换冗余大的缺点, 本文提出了一种基于小波的 Contourlet 变换的 SPIHT 编码方法, 该方法除了具有一般基于小波变换的零树编码算法的特性外, 还具有方向性和各向异性的特点, 特别对图像的边缘信息和纹理信息具有很好的捕捉能力和解码的视觉效果。实验结果表明, 所提出的算法在低码率下其重构图像的 PSNR 要高于 SPIHT 算法, 重构图像纹理和边缘区域的视觉效果要优于 SPIHT。

**关键词:** 图像编码; 小波; 轮廓波; SPIHT

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

## Image Compression Algorithm Using Wavelet Based Contourlet Transform

Fang Hui, Zheng Chunyan, Yin Zhongke, Wang Jianying

(School of Information Science & Technology, Southwest Jiaotong University,

Chengdu 610031, China)

(fanghui2002@163.com, zhengchunyan\_03@163.com)

**Abstract:** The wavelet-based contourlet transform modify the redundancy of contourlet. In this paper, an image compression algorithm using wavelet based Contourlet transform and SPIHT is proposed. This algorithm not only has multi-scale feature, but also has direction and anisotropy, consequently which can enhance the capability of capturing textures, contours and fine details in images. Experiment results prove that the proposed algorithm, at the lower decode bit rate, can achieve higher PSNR than traditional SPIHT image compress algorithm, our algorithm is visually superior to the SPIHT in textures and contours.

**Keywords:** image coding; wavelet; Contourlet; SPIHT

### 引言

对于二维图像, 由于边缘轮廓和纹理等具有高维奇异性的几何特征包含了大部分信息, 小波不再是表示图像的最优基函数。由于小波变换不能有效地表示图像的方向性信息, 研究者们提出了图像的多尺度几何分析方法, 其中的 Contourlet 变换[1]就是较为突出的一种, 它具有多分辨率局部化和方向性等特征, 能更好地刻画图像轮廓和纹理。但是由于原始的 Contourlet 变换具有  $4/3$  的冗余度, 因此 Contourlet 变换在图像压缩的应用中有一定的局限性。为了克服在 Laplace 分解过程中产生的冗余, 同时采用更好的编码方案, Ramin Eslami 在 Contourlet 变换的基础上提出了一种非冗余的 Contourlet 变换, 用小波分解替代 Contourlet 变换中的 Laplace 分解对图像进行多尺度分解[2], 该方法称为基于小波的 Contourlet 变换。本文对小波的 Contourlet 变换系数进行 SPIHT 编码, 并对 SPIHT 进行了改进。实验结果表明, 所提出的算法在低码率下其重构图像的 PSNR 要高于 SPIHT 算法, 重构图像纹理和边缘区域的视觉效果要优于 SPIHT。

国家自然科学基金: 稀疏分解及其在图像低比特率压缩中的应用研究 (项目编号: 60772084)

# 1 Contourlet 变换

## Contourlet 变换的实现

(1)由拉普拉斯塔式分解对图像进行多尺度分解以“捕获”奇异点。每一次的 Laplace 分解都会产生一个分辨率为原图像一半的低通子带和一个带通子带，而对于低通子带使用 Laplace 分解进行迭代，就可以实现图像的多尺度分解。

(2)将由第(1)步 Laplace 分解产生的带通图像通过二维方向滤波器组(Directional Filter Bank, DFB),把分布在同方向上的奇异点合成为一个系数。DFB 的作用是捕获图像的高频信息,通过  $L$  层的树状结构的分解快速实现,产生  $2^L$  个楔形子带,每个子带分别代表一个方向。Contourlet 变换的结果是用类似于轮廓线段(Contour segment)的基结构来逼近原图像。图 1 是 Contourlet 变换的原理图。

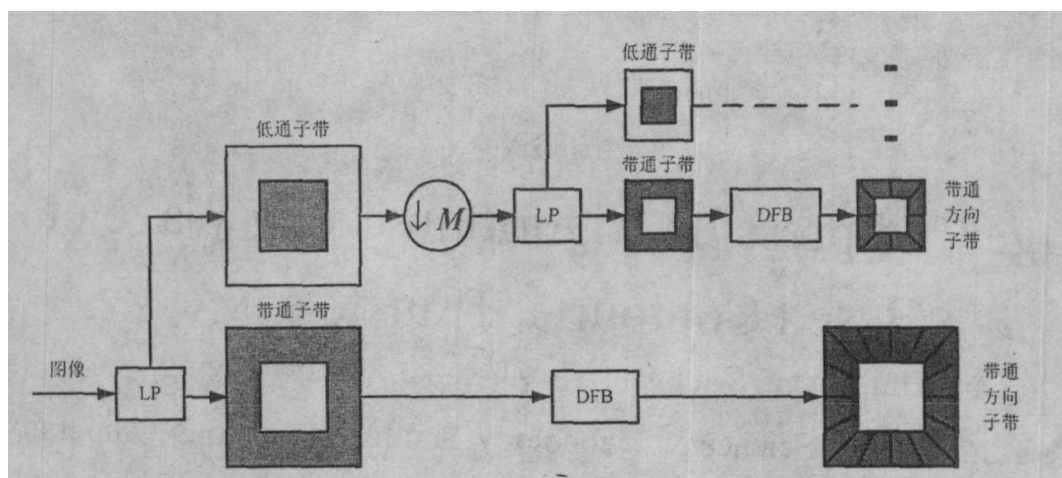


图1 cotourlet变换

为了高效地捕获图像中的方向信息,人们进行了大量的研究,方向滤波<sup>[5]</sup>就是其中一种有效的方法。二维频谱中的楔形区域对应于图像的方向分量,具有任意方向的小角度扇形数字滤波器又称为方向数字滤波器。方向滤波器组的一个核心问题是如何在二维频谱上将方向信息划分到想要的精度,同时保持样本数目不变,后者可以通过子采样实现。

使用梅花形采样矩阵可以组成二维双通道滤波器组,如图2所示,在完全重构的条件下,可以将输入信号分解到不同方向,并保持样本数目不变。对二维双通道梅花形采样滤波器组的输出,继续采用二维双通道梅花形采样滤波器组滤波,可以形成一棵二叉树。

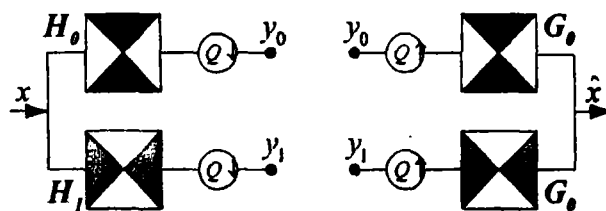


图 2 基于扇形滤波器和梅花形采样的滤波器组

本质上 DFB 仅适用于图像的高频分量,这是因为方向滤波器组可能将图像的低频分量泄漏于几个方向性子带中。因此在应用 DFB 之前,应用 Laplace 分解将图像的低频部分移除。Contourlet 变换采用扇形滤波器对旋转后的重采样信号滤波实现 DFB,可以通过扇形滤波器和二次取样的“旋转”

的适当组合来实现 DFB 的楔形频率分割,它避免了对输入信号的调制,在多尺度迭代时有简单的分解树规则,将  $L$  层二叉树状结构的方向滤波器变成了  $2^L$  个并行通道的结构。

## 2 小波的 Contourlet 变换

与Contourlet变换类似,小波的Contourlet变换分解可以分为多尺度分解和多方向分解两个相对独立的过程。首先对图像进行小波变换,以代替Laplace分解即实现多尺度分解,生成低通子带和高通子带。再对高频子带作方向变换,以增强高通子带的方向性。在小波分解时采用的是可分离滤波器组,而方向分解则采用的是不可分离树级方向滤波器组。能够“捕捉”小波高频子带中包含的方向信息,并将这些信息汇聚到其对应的方向子带中去,起到进一步的方向细化的作用。图3是小波的Contourlet变换的分解结构示意图,小波变换为三层分解,在小波的最高层子带上做了三级方向分解即有八个方向子带,在次高层上则只做了二级方向分解。

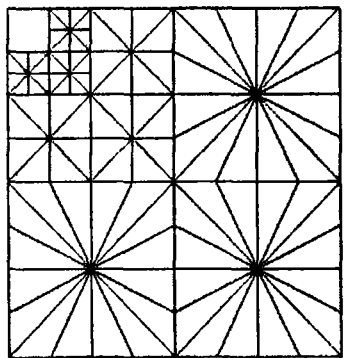


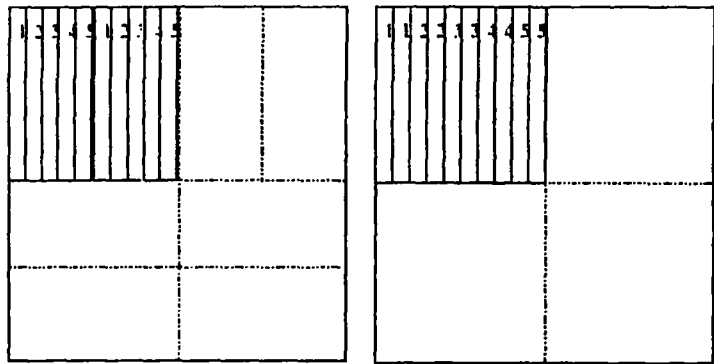
图3 小波的Contourlet变换的分解结构示意图

## 3 小波的 Contourlet 变换 SPIHT 图像编码

小波的Contourlet变换SPIHT图像编码算法基本原理为:首先对原始图像进行小波分解,同时对中高频小波子带进一步实施自适应方向分解;然后根据小波系数统计特性,优化处理最低频子带系数,再结合小波分解与方向分解的特点,采用SPIHT编码思想完成图像的压缩。

对原始图像进行  $L$  级小波分解以后,仅在除第  $L$  级和第  $L-1$  级外的各级小波子带上进行方向分解,且最高分辨率上方向分解数为  $2^{L-1}$ 。这一阶段是由不可分离的滤波器组来实现的。另外,用pkva滤波器<sup>[3]</sup>取代扇形滤波器可以减少方向间的交互信息,即pkva滤波器在定位边缘方向上更加有效。为此,我们进行方向分解时采用了性能优良的pkva滤波器。

由于小波的 Contourlet 变换采用小波变换进行多尺度分解,分解后具有类似于小波的多分辨率结构,只是父子系数的映射关系不同于小波,因此只要将 Contourlet 的系数进行重新组合,使组合后的系数在形式上具有小波变换的 4 叉树关系后,就可以利用小波的 SPITH 编码<sup>[7]</sup>方案对 Contourlet 系数进行编码[]。图 4 是有 8 方向分解的 Contourlet 子带示意图,当上一级的方向分解数为 4 时,图 4 (a)所示的 8 个子带中相邻的两个垂直子带或水平子带分别对应于上一级的一个垂直或水平子带。如图(b)只要将两个子带内的系数位置进行交换,就可使具有相同父系数的点聚合在一起。



(a) 原来的方向子带 (b) 重新组合的方向子带

图4 小波的Contourlet重新组合的方向子带

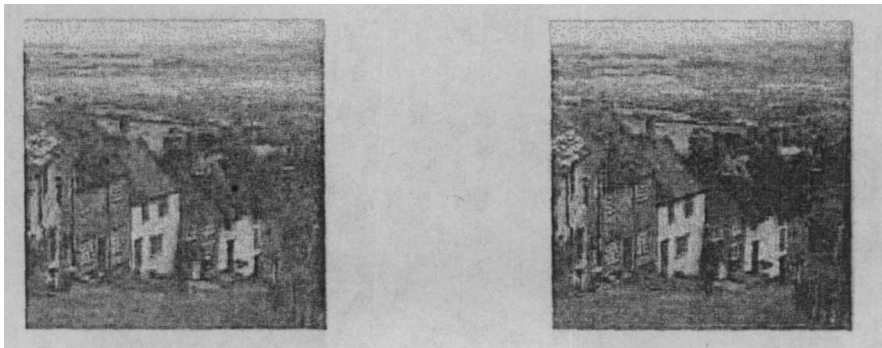
最低频子带内存在许多幅值大的系数，原始图像的绝大部分能量集中在最低频子带中，因此，对最低频子带内的这些幅值大的系数进行有效编码，将在很大程度上影响图像编码质量。将最低频子带内的所有一小波系数都减去均值，以得到优化的最低频子带，利用SPIHT编码策略单独编码优化后的最低频子带，同时解码之后还要将复原的最低频子带系数加上均值，这样才不会引起能量的损失。

#### 4 实验结果与分析

为了验证本文图像压缩编码算法的高效性，以下在Pentium 4/3.06GHz计算机上，以512 X 512 X 8bit标准图像Goldhill, Barbara为例，进行了3级小波分解，在最细尺度上进行数目为16的方向分解。表1和图4给出了Goldhill和Barbara图像分别采用本文方法与Wavelet方法的对比结果。实验中，小波分解重构采用了常见的双正交9/7小波滤波器，方向分解重构则采用了pkva滤波器。

表1 不同压缩编码算法的PSNR(dB)对比

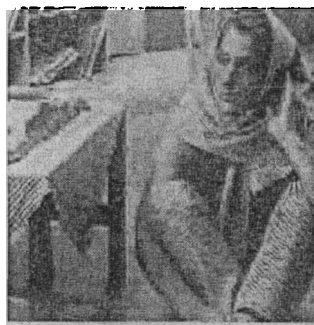
比特率(bpp)	Goldhill图像		Barbara图像	
	WT-SPIHT	本文方法	WT-SPIHT	本文方法
0.05	19.3819	20.6937	20.3494	21.1567
0.1	24.9482	25.5487	22.9812	23.3999
0.125	25.8118	26.2036	25.1700	25.4171
0.25	28.5359	28.7633	27.0322	27.1298



(a) WT-SPIHT方法Goldhill图像0.125bpp (b) 本文方法Goldhill图像0.125bpp



(c) WT-SPIHT方法Barbara图像0.125bpp



(d) 本文方法Barbara图像0.125bpp

图5 本文方法与WT-SPIHT方法编码效果比较

由表1和图5我们可以看出，在低比特率下本文方法得到的PSNR值优于小波，主观效果上来看，本文方法得到的复原图像在视觉效果上明显好于小波压缩方案，尤其是在纹理丰富区域。

Contourlet变换是一种全新的高维信号奇异性分析工具，其不仅具有良好的方向性和各向异性，而且能够高效率捕获图像几何特征，但Contourlet变换自身存在较为严重的冗余问题。基于小波分解与方向分解相结合的图像压缩方法，不仅可有效解决小波变换难以准确捕获图像纹理特征与边缘特征问题，而且能够克服Contourlet变换冗余量大的问题。实验结果表明，本文提出的图像编码方法是一种高效的图像压缩算法，在低比特率下压缩效果优于WT-SPIHT编码方法。

## 参考文献

- [1] Do M N, Vetterli M. Contourlets: a new directional multiresolution image representation[J]. Signals, Systems and Computers, 2002(1):497-501.
- [2] Eslami R, Radha H. Wavelet-based contourlet transform and its application to image coding[C]. Proc of IEEE International Conference on Image Processing, Singapore, 2004, 3189-3192.
- [3] Duncan D.-Y. Po, Minh N. Do. Directional multiscale modeling of images using the contourlet transform[J]. IEEE Transaction on Image Processing, June 2006, Volume 15:1610-1620.
- [4] 焦李成, 谭山. 图像的多尺度几何分析: 回顾和展望[J]. 电子学报. 2003, 31(12A): 1975-1981.
- [5] Nguyen T T, Orantara S. Multiresolution direction filter banks: theory, design and application[J]. IEEE Transactions on Signal Processing. 2005, 53(10):3895-3950.
- [6] Do M N, Vetterli M. The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12):2091-2106.
- [7] Said A, Pearlman W A. A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees[J]. IEEE Transactions on Circuits and systems for Video Technology, 1996, 6(3):243-250.