

# 基于 Contourlet 变换和 SPIHT 算法的彩色医学图像压缩

汤 敏<sup>1</sup> 陈秀梅<sup>1</sup> 陈 峰<sup>2</sup>

(南通大学电子信息学院 南通 226019)<sup>1</sup> (南通大学电气工程学院 南通 226019)<sup>2</sup>

**摘 要** 二维小波变换只能很好地分离不连续点,无法最优表示曲线奇异,同时只能获取有限的方向信息,这大大限制了它在图像处理领域的应用。Contourlet 变换则结合拉普拉斯金字塔和方向滤波器组,得到多分辨率、局域、多方向的图像表示。由于基于小波变换的多级树集合分裂排序(SPIHT)算法不能有效表达图像的纹理和轮廓信息,因此提出一种基于 Contourlet 变换和 SPIHT 算法的彩色图像压缩方法,并应用于医学图像感兴趣区域压缩。首先将彩色图像转换至 YIQ 彩色空间;然后选取感兴趣区域,对其采用 Contourlet 变换提取特征信息,并利用 SPIHT 算法对 Contourlet 系数优先编码和传输,从而保证感兴趣区域的图像质量和细节信息。对背景区域则采用小波变换,并通过系数截断的方式提高图像压缩比。实验结果表明,所提算法可以较好地保留感兴趣区域的图像特征,大幅度提高背景区域的压缩比,是一种较实用的图像压缩新方法,在医学图像感兴趣区域压缩中效果良好。

**关键词** Contourlet 变换, SPIHT, 图像压缩, 感兴趣区域, 医学图像

**中图分类号** TP391, TN919. 81 **文献标识码** A

## Colorful Medical Image Compression Based on Contourlet Transform and SPIHT Algorithm

TANG Min<sup>1</sup> CHEN Xiu-mei<sup>1</sup> CHEN Feng<sup>2</sup>

(School of Electronics and Information, Nantong University, Nantong 226019, China)<sup>1</sup>

(School of Electrical Engineering, Nantong University, Nantong 226019, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Wavelets two-dimension are good at isolating the discontinuities at edge points, but not the smoothness along the contours. In addition, separable wavelets only capture limited directional information, which is restricted in image processing applications. In comparison, contourlet transform combines Laplacian pyramid (LP) with directional filter bank (DFB) to achieve a flexible multi-resolution, local and directional image expansion based on contour segments. A novel image compression method based on contourlet transform and set partitioning in hierarchical trees (SPIHT) algorithm was proposed for colorful medical images, because SPIHT algorithm based on wavelet transform can't express the texture and contour effectively. Firstly, original RGB image is converted to YIQ color space according to the characteristics of human visual system. Secondly, contourlet transform is applied to region of interest (ROI) to capture the main characteristics and then SPIHT algorithm is used to guarantee the compressed image quality and detail. For back ground image, wavelet transform is used to improve compression ratio greatly by wavelet coefficients truncation. Experimental results demonstrate that our algorithm is practical and effective for colorful medical images, which is a good balance for compressed image quality and compression ratio.

**Keywords** Contourlet transform, SPIHT, Image compression, Region of interest (ROI), Medical images

## 1 引言

为减轻数字图像对存储空间的需求,同时提高计算机的工作效率,一般数字图像在传输和存储时都需要采用一定的压缩技术,利用数据固有的冗余性和不相干性,将庞大的数据集转换为较小的数据集,此过程称为图像压缩。在对医学图像的处理和分析中,人们往往更重视病灶及其周围组织的病理结构及其相互关系,而其他部位则无需关心。常见的图像编码方法只是简单地均匀处理整幅图像的所有区域,不能对某一区域进行特殊处理,因此对医学图像感兴趣区域的

压缩编码研究则显得尤为重要。

近年来,随着多分辨分析理论研究的深入,小波(wavelet)变换、脊波(ridgelet)变换、曲波(curvelet)变换和轮廓波(contourlet)变换等概念纷纷提出,并在理论研究和应用前景等方面取得长足进步。其中,小波变换率先提出,其基本思想是将信号分解成一系列小波函数的叠加,这些小波函数都是由一个母小波函数经过平移和尺度伸缩得到的。小波变换虽然仍是目前通用的图像处理手段之一,但由于二维小波变换只能很好地分离不连续点,无法最优表示曲线奇异,而且只能获取有限的方向信息,因此大大限制了它在图像处理方面的

到稿日期:2013-03-29 返修日期:2013-07-01 本文受国家自然科学基金项目(61005054),南通大学 2008 年度博士科研启动基金(08B15)资助。

汤 敏(1977—),女,博士,副教授,主要研究方向为图像处理及可视化,E-mail: tangmnt@yahoo.com.cn 和 tangmnt@163.com;陈秀梅(1990—),女,硕士生;陈 峰(1977—),男,博士,副教授,主要研究方向为人机交互、信息获取。

应用。

在小波变换基础上,结合多分辨率的思想,Candes等提出了 Ridgelet 变换和 Curvelet 变换<sup>[1,2]</sup>,2002年 Donoho 和 Vetterli 又提出了一种新的二维变换方法——Contourlet 变换<sup>[3]</sup>。Contourlet 变换实质上是小波变换的一种新扩展,是一种多分辨率、局域、多方向的图像表示方法,其图像基分布于多尺度多方向上。Contourlet 变换与小波变换的最大区别在于它在高频可以做任意多个方向的分解,从而提供各个方向的细节信息。Contourlet 变换的优点在于仅使用少量系数就能有效表示平滑轮廓<sup>[3,4]</sup>。

由于 Contourlet 变换提出仅 10 年,因此它在图像处理领域的应用才刚刚起步,包括图像增强<sup>[5]</sup>、图像消噪<sup>[6]</sup>、图像融合<sup>[7]</sup>以及图像压缩<sup>[8-11]</sup>。其中,文献[8]介绍将 Contourlet 变换和改进的 EZW 算法结合用于医学图像压缩的研究;文献[9]是将 Contourlet 变换和隐马尔可夫树结构相结合,用于静态图像的压缩编码;文献[10]是基于 Contourlet 域内小波变换的图像压缩感知研究;文献[11]则是基于 Wavelet-Contourlet 变换和人眼视觉特性的图像压缩研究。不同于上述文献的是,本文将 Contourlet 变换和 SPIHT(Set Partitioning in Hierarchical Trees)算法结合,应用于医学图像以及感兴趣区域(Region of Interest, ROI)的压缩研究,从而保证 ROI 区域较背景区域优先编码和传输,重构的 ROI 图像质量更好,同时能最大限度地压缩背景图像。

本文首先给出算法流程并简要说明;然后依次介绍算法的各项关键技术,包括人眼视觉感知特性、彩色图像处理、Contourlet 变换原理以及 SPIHT 算法原理等环节;再对本文算法的性能进行实验分析;最后总结全文,并展望今后研究方向。

## 2 算法流程

本文算法整体流程参见图 1,其中上半部分为图像压缩过程,下半部分为图像解压过程。针对彩色医学图像,首先将图像变换至 YIQ 彩色空间,这是因为 YIQ 彩色空间与人眼视觉感知特性极为接近,而且在该彩色空间中便于把彩色图像中的亮度信息与色度信息分别处理。然后,选取感兴趣区域 ROI,其余图像部分则为背景区域,对 ROI 和背景区域分别采用 Contourlet 变换和 Wavelet 变换提取区域特征信息。由于背景区域相对于 ROI 区域而言不太重要,因此本文算法中背景区域获得的 Wavelet 系数采用系数截断的方式来提高图像压缩比,同时利用 SPIHT 算法对 ROI 图像数据优先编码和传输,在解码端则实现 ROI 优先接收和解码,从而使 ROI 图像具有较高的压缩质量。

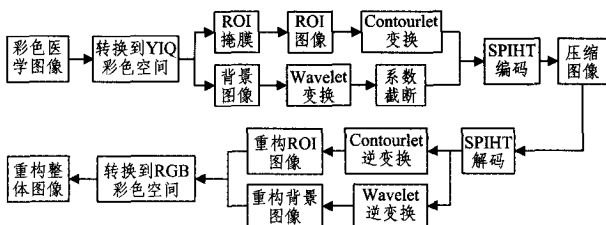


图 1 本文算法流程

## 3 算法关键技术

### 3.1 人眼视觉感知特性

人眼类似于一个光学信息处理系统,当光辐射刺激人眼时,将会引起复杂的生理和心理变化,这种感觉就是视觉。人类视觉系统(Human Visual System, HVS)作为一种图像处理系统,对图像的认知是非均匀和非线性的。人眼视觉感知特性主要包括:1)亮度掩蔽特性,即在背景较亮或较暗时,人眼对亮度不敏感;2)空间掩蔽特性,即随着空间变化频率的提高,人眼对细节的分辨能力下降;3)时间掩蔽特性,即随着时间变化频率的提高,人眼对细节的分辨能力下降<sup>[12]</sup>。

视觉生理-心理学实验表明,人眼对于图像中各种细节的敏感程度不同,人的视觉在某些条件下可以容忍一些失真,而且有些失真人眼根本辨别不出。因此,对于人眼不敏感、无关紧要的信息允许有较大的失真,即使这些信息全部丢失,人眼也可能觉察不到;相反,对于人眼比较敏感的信息,则要尽量减少失真。这就是基于人眼视觉感知特性进行图像压缩的基本思想。

### 3.2 彩色图像处理

RGB 彩色图像转换至 YIQ 彩色空间及其逆过程的转换公式如下<sup>[13,14]</sup>。

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ -0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.9557 & 0.6199 \\ 1 & -0.2716 & -0.6469 \\ 1 & -1.1082 & 1.7051 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中,  $Y$  表示颜色的明视度,即亮度;  $I$  和  $Q$  表示色度,即描述图像色彩和饱和度的属性,  $I$  分量代表从橙色到青色的颜色变化,而  $Q$  分量则代表从紫色到黄绿色的颜色变化。

本文之所以选择 YIQ 彩色空间,一方面是因为其可以将彩色图像中的亮度信息与色度信息分开,分别独立进行处理;另一方面是因为 YIQ 彩色空间与人眼视觉系统的性能极为接近。人眼视觉系统对图像亮度的变化更敏感,远超过对于图像色度和饱和度变化的敏感程度。因此在图像压缩时为  $Y$  分量保留更多的带宽,即较高的分辨率;而人眼对于  $Q$  分量最不敏感,因此删除较多的  $Q$  分量;至于  $I$  分量,人眼的敏感程度适中,因此该分量的取舍应该比  $Y$  分量少而比  $Q$  分量多<sup>[13,14]</sup>。

### 3.3 Contourlet 变换基本原理

Contourlet 变换是一种多尺度多方向的变换,不同于以往的 Wavelet 变换和 Curvelet 变换的是,它直接提出于离散域,之后才被推广到连续域以分析其性质,因此更适用于数字图像处理场合。

Contourlet 变换的基本思想是<sup>[3,4]</sup>:首先用拉普拉斯金字塔(Laplacian Pyramid, LP)分解得到边缘的孤立断点;然后使用二维方向滤波器组(Directional Filter Bank, DFB)将方向一致的断点连接成线,形成基本的轮廓段(Contour),因此得名 Contourlet 变换。图 2 所示为 Contourlet 分解的频域示意

图[4]。其中,LP变换实现尺度分解,将图像分解到多个尺度上。LP分解时只对低频进行下采样,且只产生一个带通图像,所以避免了图像混频现象。由LP变换得到的各个尺度高频通过DFB进行频域方向分割,得到多个方向子带。DFB由扇形滤波器和相当于旋转算子的重采样构造而成。综上所述,Contourlet变换可以看作是LP和DFB结合的双层滤波器组结构,亦称为塔形方向滤波器组(Pyramidal Direction Filter Bank,PDFB)[3,4]。Contourlet变换的主要优点包括:1)提供任意方向上的信息,采样冗余度不超过4/3;2)使用迭代滤波器组可实现高效计算。因此,Contourlet变换在图像去噪、纹理检测和压缩编码等方面都具有良好的应用前景。

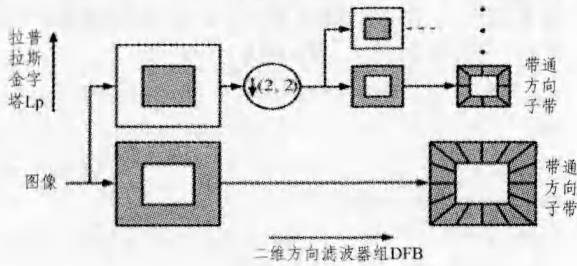


图2 Contourlet分解示意图

### 3.4 SPIHT算法原理

在EZW(Embedded Zerotree Wavelet)编码算法的基础上,A. Said和W. A. Pearlman提出了基于多级树集合分裂排序(Set Partitioning in Hierarchical Trees, SPIHT)编码算法[15]。SPIHT算法采用了空间方向树(Spatial Orientation Tree, SOT)、全体子孙集合 $D(i, j)$ 和非直系子孙集合 $L(i, j)$ 的概念,以便更有效地表示上述特征的系数结构,从而提高编码效率。此外, SPIHT算法既继承了EZW算法的优点,又利用了不同级子带间的相关性,来支持渐进式传输及无损压缩等。

由于基于小波变换的SPIHT算法不能有效表达图像纹理和轮廓细节[12,15,16],因此本文采用基于Contourlet变换的SPIHT算法进行图像压缩编码,计算步骤简要说明如下:

#### Step1 符号定义及初始化

用坐标 $(r, c)$ 标识节点,用 $C_{r,c}$ 标识Contourlet变换系数。定义初始阈值 $T$ 的指数 $N = \text{floor}(\log_2(\max\{|C_{r,c}|\}))$ 。系数若大于等于阈值则标识为重要系数,否则为非重要系数。

定义 $O(r, c)$ 为节点 $(r, c)$ 所有孩子的集合; $D(r, c)$ 为节点 $(r, c)$ 所有子孙的集合(包括孩子); $L(r, c)$ 为节点 $(r, c)$ 所有非直系子孙的集合(不包括孩子); $H$ 为所有树根的坐标集。

定义LSP(重要系数表)为空集;LIP(不重要系数表) =  $\{(r, c) | (r, c) \in H\}$ ; LIS(不重要子集表) =  $\{D(r, c) | (r, c) \in H \text{ 且 } (r, c) \text{ 具有非零子孙}\}$ 。LIS的初始值为‘D’, LIS和LIP中Contourlet变换系数的排列顺序按从上至下、从左到右的Z型次序排列。

#### Step2 排序扫描

扫描LIP队列,判断其中的每个Contourlet变换系数 $(r, c)$ 是否重要;扫描LIS队列,判断其中的每个子集的树根

$(r, c)$ 的类型。

#### Step3 精细扫描

将上次扫描的LSP队列中的Contourlet变换系数量化为比特流,在精细位流 $R_n$ 后添加输出的比特位 $B_r, c$ 。

#### Step4 更新阈值指数

阈值指数折半更新,返回STEP2后开始执行下一代编码扫描。

## 4 实验结果与分析

在普通配置计算机上采用MATLAB7.0编程实现基于Contourlet变换和SPIHT算法的彩色医学图像压缩研究。

实验1 选择测试图像barbara,对Contourlet变换和Wavelet变换的压缩效果进行定性定量的比较,结果参见图3。其中,Contourlet变换中LP阶段选用9-7双正交滤波器,因为它具有线性相位和近似正交性;DFB阶段采用23-45双正交5点梅花形滤波器,因为它除具有线性相位和近似正交性外,还具有理想的频率特性[3]。Wavelet变换则采用9-7双正交滤波器和3级分解,其低通滤波器为 $H(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k \in Z} h_k z^k$ ,高通

滤波器为 $G(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k \in Z} g_k z^k$ 。



图3 Contourlet变换和Wavelet变换对灰度测试图像barbara的压缩效果

从图3可以清楚地看到,基于Contourlet变换得到的压缩图像信噪比约为13.18dB,基于Wavelet变换得到的压缩图像信噪比约为12.06dB,并且通过对图像局部区域的放大,明显看出在人物裤腿以及桌布纹理等细节方面,Contourlet变换能够较好地保留图像中的纹理细节,图像的主观视觉质量较好。因此可以将Contourlet变换应用于医学图像的压缩研究中。

实验2 选择测试图像lena,说明本文算法的可行性。首先将RGB图像通过式(1)转换至YIQ彩色空间;然后选取脸部图像作为ROI区域,其余部分则为背景图像,进行Contourlet变换和SPIHT算法的压缩编码;最后将YIQ彩色模型通过式(2)反变换至RGB彩色空间,从而完成彩色图像的压缩实验,结果参见图4。



图4 彩色lena图像及其ROI压缩效果(压缩比分别为1:20、1:50、1:100)

从图4可以清楚地看到,ROI区域图像压缩前后质量并无明显视觉差异,图像特征几乎保持不变,只是脸部图像饱和

度略有变化,部分像素点处 RGB 分量的数值稍有差异,但一般该差异值不超过 20。而背景图像则随着压缩比的增大显得越来越粗糙,在帽檐和发尾部分均出现明显伪影和模糊。这说明本文算法在保留 ROI 区域图像特征的同时很好地实现了背景区域的图像压缩,可推广应用于彩色医学图像感兴趣区域的压缩研究。

实验 3 本文算法应用于彩色医学图像的兴趣区域的压缩研究,结果参见图 5,信噪比的定量比较参见表 1。

从图 5 可以清楚地看到,对于彩色医学图像,本文算法可以很好地实现 ROI 区域和背景区域的不同压缩效果。对于图 5 中标识出的 ROI 区域,基于 Contourlet 变换和 SPIHT 算法的压缩方案较好地保留了视网膜血管中心以及图像中心细胞的特点和相互关系,充分保留了感兴趣区域的图像特征。对于背景图像,本文算法采用基于 Wavelet 变换的图像压缩方法,通过系数截断的方法大大提高了图像压缩比,相应降低了图像质量。

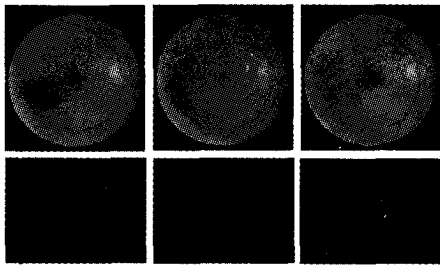


图 5 医学图像 ROI 压缩效果(压缩比分别为 1:50、1:100、1:200)

表 1 图 5 中不同压缩比时图像信噪比的定量比较

	压缩比 1:50	压缩比 1:100	压缩比 1:200
视网膜血管图像	13.67dB	13.12dB	13.04dB
细胞图像	13.89dB	12.83dB	12.78dB

结束语 与传统的小波变换相比,Contourlet 变换是一种多分辨率、局域、多方向的图像表示方法,其图像基分布于多尺度多方向上。Contourlet 变换与小波变换的最大区别在于它可在高频做任意多个方向的分解,从而提供各个方向的细节信息,因此更适合应用于图像处理领域。

本文提出利用 Contourlet 变换和 SPIHT 算法压缩彩色医学图像感兴趣区域的方法。首先根据人眼视觉感知特性,将 RGB 彩色图像转换至 YIQ 彩色空间,考虑到人眼视觉系统对图像亮度的变化更敏感,因此在图像压缩时保留较多的 Y 分量、部分 I 分量和较少的 Q 分量。然后对于图像中的感兴趣区域采用 Contourlet 变换,而对背景区域采用 Wavelet 变换,通过 SPIHT 算法实现图像压缩。实验结果表明,本文算法可以很好地实现彩色测试图像与医学图像的兴趣区域的压缩编码,图像压缩效果良好,信噪比较高,可以很好地保留感兴趣区域图像特征,同时大幅度提高背景图像的压缩效率,在细节处理上也更为细腻准确。而且, SPIHT 算法具有渐进传输的特性,可优先编码和传输 ROI 图像数据,即使解码端接收数据不完全,依然能重构出质量较好的 ROI 图像。

今后研究方向包括,对医学图像感兴趣区域的压缩效果进行更多客观指标的定量分析,使用不同类型的彩色医学图

像来验证本文算法的效果。

## 参考文献

- [1] Donoho D L, Duncan M R. Digital Curvelet Transform; Strategy, Implementation and Experiments [J]. Proceedings of SPIE, 2000, 4056:12-30
- [2] Candes E, Demanet L, Donoho D, et al. Fast Discrete Curvelet Transforms [R]. Technical Report of Applied and Computational Mathematics. California Institute of Technology, 2005:1-43
- [3] 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
- [4] 才溪, 赵巍. Contourlet 变换低通滤波器对图像融合算法影响的讨论 [J]. 自动化学报, 2009, 35(3):258-266
- [5] Hua Zhen, Li Ye-wei, Li Jin-jiang. Image Nonlinear Enhancement Algorithm Based on Nonsubsampled Contourlet Transform [J]. International Journal of Digital Content Technology and Its Applications, 2011, 5(7):43-51
- [6] Li Jin-jiang, Li Ye-wei, An Zhi-yong. Image Denoising Algorithm Based on the Nonsubsampled Double Density Contourlet Transform [J]. Journal of Convergence Information Technology, 2011, 6(9):105-113
- [7] Hua Zhen, Li Hong-juan, Li Ye-wei. Remote Sensing Image Fusion Algorithm Using Dyadic Contrast Contourlet Transform [J]. International Journal of Advancements in Computing Technology, 2011, 3(7):132-140
- [8] Tamilarasi M, Palanisamy D V. Contourlet Based Medical Image Compression Using Improved EZW, 2009 [C]// 2009 International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing. Kottayam, Kerala, India, Oct. 2009: 800-804
- [9] Fan Yong-hui, Wang Gang, Liang Xiao. A Static Image Coding Algorithm Based on Contourlet Classified Hidden Markov Tree Model [J]. Engineering Computations, 2011, 28(2):172-183
- [10] Bi Xue, Chen Xiang-dong, Zhang Yu, et al. Image Compressed Sensing Based on Wavelet Transform in Contourlet Domain [J]. Signal Processing, 2011, 91(5):1085-1092
- [11] Gao Bing-kun, Sha Bao-liang, Zhang Yu-bo, et al. HVS-Based Image Compression Scheme in Wavelet-Contourlet Domain [J]. Advances in Information Sciences and Service Sciences, 2012, 4(2):160-166
- [12] 吴乐南. 数据压缩(第 3 版)[M]. 北京:电子工业出版社, 2012: 101-102, 160-164
- [13] Foley J D. Computer Graphics; Principles and Practice(Second Edition)[M]. USA:Pearson Education Inc, 2002:589-590
- [14] Mansoor A, Mansoor A. On Image Compression Using Digital Curvelet Transform, 2005 [C]// 9<sup>th</sup> International Multitopic Conference. Piscataway, New Jersey, Dec. 2005:670-673
- [15] Said A, Pearlman W A. A New, Fast, and Efficient Image Code Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3):243-250
- [16] 余燕英. 一种基于 SPIHT 改进的 ROI 图像编码方法 [D]. 南京:南京邮电大学, 2012