

文章编号:1007-2780(2009)02-0268-05

一种基于小波-Contourlet 变换的图像编码算法

田秀伟^{1,2}, 郑喜凤¹, 丁铁夫¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail:txw1981@126.com;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 根据小波-Contourlet 变换对图像分解具有多尺度和多方向性的特点,提出了一种结合小波-Contourlet 变换和集合分裂嵌入块(SPECK)编码的图像压缩算法(CSPECK)。小波-Contourlet 通过方向滤波器组把小波分解的高频子带进一步分解为多个方向子带,从而可更稀疏地表示图像的边缘和纹理。SPECK 算法编码具有复杂度低和编码效率高的优点。实验结果表明,CSPECK 算法对纹理丰富的图像有很好的压缩效果,与基于小波-Contourlet 变换的 CSPIHT 算法相比,峰值信噪比提高了 0.2~0.6 dB。

关 键 词: 小波-Contourlet 变换;图像编码;方向滤波器组;峰值信噪比
中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

1 引 言

小波变换在压缩、去噪和图像增强等方面有很好的效果。但由一维小波扩张成的二维离散小波变换(Separable Wavelet)只具有有限个方向,不能充分利用图像本身特有的几何特性,不能“最优”表示含线或者面奇异的二维图像,因此人们提出了多尺度多几何分析方法。其中 Contourlet 变换^[1,2]具有多分辨率、局部化和多方向性等特性,能很好地刻画图像轮廓和纹理。但是 Contourlet 变换具有 4/3 的冗余度,不利于图像压缩^[3]。R Eslami 用小波变换代替 Contourlet 变换中的拉普拉斯金字塔变换获得非冗余的小波-Contourlet 变换^[4],并在此基础上结合多级树集合分裂(Set Partitioning In Hierarchical Tree, SPIHT)编码算法^[5]提出了一种基于小波-Contourlet 变换的 SPIHT 算法(CSPIHT)^[6-8],对多纹理图像压缩具有很好的效果。

在 SPIHT 算法中,采用的是零树编码,它依靠小波变换子带间显著系数的空间相关性。小波-Contourlet 变换中对小波高频子带进行方向滤波会改变小波系数的空间相关性,影响 CSPIHT 编码的效果。集合分裂嵌入块(Set Par-

titioning Embedded block, SPECK)算法^[9]利用零块编码的思想,依靠子带内系数的相关性,不仅降低了编码复杂度,而且不受方向滤波的影响^[10,11]。

本文提出了一种基于小波-Contourlet 变换的图像 SPECK 编码方法(CSPECK),得到了更好的图像压缩效果。

2 小波-Contourlet 变换

2.1 Contourlet 变换

2002 年 Do M N 和 Vetterli M 提出的 Contourlet 变换是一种“真正”的图像二维表示方法,也称塔型方向滤波器组(Pyramidal Directional Filter Bank, PDFB)。Contourlet 的支撑区间具有随机尺度而长宽比变化的“长条形”结构,因而能更好地捕获图像的边缘信息。Contourlet 变换由拉普拉斯金字塔分解(Laplacian Pyramid, LP)和方向滤波器组(Directional Filter Bank, DFB)组成。

2.2 小波-Contourlet 变换

Contourlet 变换中采用 LP 变换会产生 4/3 的冗余,因此用二维小波变换代替 LP 变换进行子带分解。小波分解和方向滤波器组是无冗余

的,小波-Contourlet 变换也不会产生冗余。

基于小波的 Contourlet 变换分为两步进行:首先利用小波变换进行子带分解,每一级变换都将上一级的低频分量分解为低频子带 LL 和高频子带 HH、HL、LH,然后用方向滤波器将每个高频子带分解为 $N_D=2^L$ 个子块。 L 是设定的方向数。方向滤波器将子带同方向上的奇异点合成一个系数。图 1 是图像经方向数为[4 3 3]的 3 级小波-Contourlet 变换示意图。

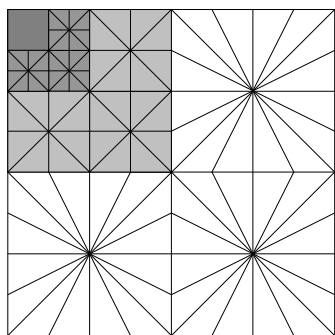


图 1 小波-contourlet 变换示意图

Fig. 1 Schematic plot of wavelet-based contourlet

3 CSPECK 编码

3.1 SPECK 算法

近年来,子带编码方面的研究取得了很大的进展。EZW 算法提出了嵌入式零树小波编码的基本框架。SPIHT 算法通过改变 EZW 算法的搜索策略并加入集合分裂方法,使重构图像的质量有了显著的提高,但算法实现比较复杂。SPECK 算法是由 Said 和 Pearlman 等提出的一种嵌入式的编码方法。它充分利用图像经小波变换后的系数结构和频域里的能量聚类性的特点。采用易于计算和并行处理的块结构,具有编码速度快和编码复杂度低的特点。具体算法如下:

(1)定义与初始化

首先定义集合:LIS 表示不重要系数列表;LSP 表示重要系数列表,存放重要系数以便进一步量化;集合 S 用于放置待处理的块,用最低频子带系数初始化;集合 I 放置除 S 之外的剩余块的集合, $I=X-S$, X 是所有块的集合。

(2)排序过程

SPECK 算法用与 EZW 算法和 SPIHT 算法相同的方法求初始阈值 T ,使得 $T=2^n$,且 $n=$

$\lceil \log_2(\max_{(i,j) \in X} |c_{i,j}|) \rceil$ 。对于只包含一个元素的 S 块,根据元素绝对值是否大于或等于 T 判断是否为重要系数,若重要则把它转到 LSP 中,以便进行进一步量化。对于包含 $2^N \times 2^N$ 个元素的 S 块,用与 SPIHT 算法判断集合重要性相同的方法判断是否重要,即:

$$S_n(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } 2^n \leq \max_{(i,j) \in t} |c_{i,j}| < 2^{n+1} \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

如果 $S_n(t)=1$ 表示块 t 是重要的, $S_n(t)=0$ 表示块 t 是不重要的。对于不重要的 S 块,可以只用一个符号表示它,对于重要的 S 块,用四叉树分解,然后按照从上到下、从左至右,对各个子块进行重要性判断。对重要的子块继续进行四叉树分解,如此重复直到找出 S 中所有的重要系数,并把它转到 LSP 中,以便进一步量化。判断集合 I 的重要性,如果 I 是不重要的,则所有 I 中的子带只用一个“0”比特表示;如果 I 是重要的集合,则把最低频的 3 个子带分裂出去,形成 3 个新的 S 类型集合和一个新的 I 类型的集合,然后对新的集合依次做重要性测试,重复前面的排序过程。

(3)量化

SPECK 算法的量化采用与 EZW 和 SPIHT 算法相同的逐次量化方法,具体参见文献[9]。

3.2 CSPECK 算法

充分利用 WBCT 和 SPECK 算法的优点,提出一种基于 WBCT 的 CSPECK 编码方法。具体算法实现如下:

(1)对原图像做小波分解。本算法中,采用 9/7 小波对图像进行小波变换,依次得到各级的高频子带 $LH_{(j)}$ 、 $HL_{(j)}$ 和 $HH_{(j)}$ 。

(2)对每个高频子带用方向滤波组滤波。方向滤波后会得到多个方向子块,在 CSPIHT 算法中为了对应新的系数“父-子”关系,需要对这些块中的系数进行重新组合。而 CSPECK 编码只需要将各个子块按位置组合。

(3)用 SPECK 算法对图像编码。编码过程和基于小波 SPECK 编码过程相同。

本文算法与基于小波 SPECK 算法相比,用小波-Contourlet 变换取代小波变换,能更稀疏地表达图像,有效地捕捉图像的纹理信息和结构特征。子带块内的能量更集中,相邻系数间有很强的相关性。

4 实验结果分析

选用大小为 512×512 像素的纹理丰富图像对本文算法进行测试,并与 CSPIHT 算法以及基于小波变换的 SPECK 算法和 SPIHT 算法进行比较。分解级数为 4 级,方向数为 $[3\ 3\ 2\ 2]$ 。实验从峰值信噪比(PSNR)和主观视觉质量两方面进行比较。表 1、表 2 给出了 Barbara、Finger 两幅图在不同码率下的重构图像的峰值信噪比(PSNR)。本文算法的峰值信噪比与 CSPIHT 算法相比提高了 $0.2 \sim 0.6$ dB,与小波算法相比也有提高。由于方向滤波器滤波后,削弱了树型结构子带间系数的相关性,从而降低了 CSPIHT 的编码效率。而 SPECK 算法是基于块编码,基本不受子带间系数相关性的影响,因此能有更好的压缩性能。

Barbara 图像在 0.25 bpp 码率下采用 CSPIHT 算法、小波 SPECK 算法和本文算法的恢复图像如图 2 所示。图 3 是 Barbara 恢复图像的局部细节图片。由以上结果可以看出基于小波-Contourlet

表 2 不同码率下 Finger 重构图像的峰值信噪比
Table 2 PSNR of different Finger reconstruct image

码率 (bpp)	Barbara(dB)			
	本文算法	CSPIHT	SPECK	SPIHT
0.125	21.62	21.40	21.56	21.37
0.250	23.93	23.68	23.86	23.60
0.500	27.26	26.84	27.08	26.78
1.000	31.17	30.69	30.91	30.55

变换的编码算法能保留更多的图像边缘和轮廓信息,获得更好的视觉效果。本文算法结果优于 CSPIHT 算法和小波 SPECK 编码算法。



图 2 对 Barbara 图像的各种编码结果
Fig. 2 Coding results for image Barbara

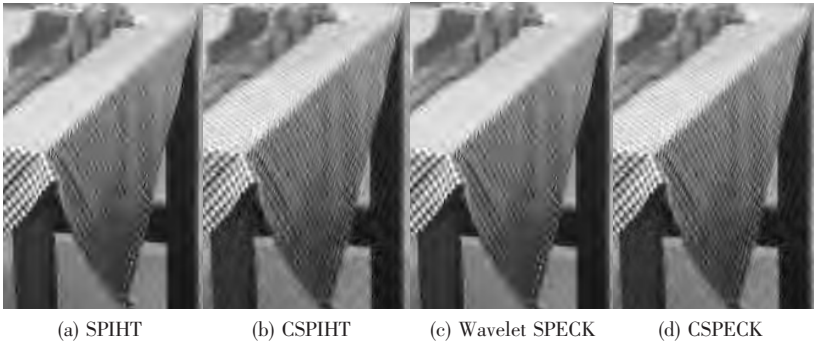


图 3 对 Barbara 图像的局部编码结果比较
Fig. 3 Parts of the Barbara image coded at 0.25 bpp

表 1 不同码率下 Barbara 重构图像的峰值信噪比
Table 1 PSNR of different Barbara reconstruct image

码率 (bpp)	Barbara(dB)			
	本文算法	CSPIHT	SPECK	SPIHT
0.125	24.90	24.30	24.38	24.14
0.250	27.40	26.89	27.10	26.68
0.500	30.79	30.28	30.55	30.49
1.000	35.34	35.00	35.36	35.20

4 结 论

小波-Contourlet 变换比小波变换和 Contourlet变换具有更强的方向性和对图像的稀疏表达,能够更有效地捕捉图像的结构特征和边缘信

息。本文给出了一种新的图像编码算法——CSPECK,采用 SPECK 算法对系数进行编码。实验结果表明,CSPECK 算法得到了比 CSPIHT 编码更高的峰值信噪比,与基于小波的 SPECK 编码相比有更好的视觉效果。

参 考 文 献:

[1] Do M N. Directional multiresolution image representations [D]. Lausanne, Switzerland:Swiss Federal Institute of Technology, 2001.

[2] Minh N Do, Vetterli M. The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation [J]. *IEEE Trans on Image Processing*,2005, 14(12):2091-2106.

[3] Duncan D Y, Po M N. Do Directional multiscale modeling of images using the contourlet transform [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2006, 15(6):1610-1620.

[4] Eslami R, Radha H. Wavelet-based contourlet transform and its application to image coding [C]//*IEEE International Conference on Image Processing*, Singapore:IEEE, 2004:3189-3192.

[5] Said A, Pearlman W A. A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees [J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, (6):243-250.

[6] Eslami R, Radha H. Wavelet-based contourlet coding using an SPIHT-like algorithm [C]// *Conference on Information Science and Systems*, Princeton, Piscataway, USA:IEEE, 2004:784-788.

[7] Chappelier V, Guillemot C, Marinkovic S. Image coding with iterated contourlet and wavelet transforms [C]// *IEEE International Conference on Image Processing*, Piscataway, USA:IEEE, 2004:3157-3160.

[8] Eslami R, Radha H. New image transform using hybrid wavelets and directional filter banks:analysis and design [C]//*IEEE, International Conference on Image Processing*,Genova, Italy:IEEE,2005:733-736.

[9] Islam A, Pearlman W A. An embedded and efficient low complexity hierarchical image coder [C]//*SPIE International Conference on Visual Communications and Image Processing*, San Jose,CA:SPIE, 1999:294-305.

[10] 夏军,连元冠,刘璐,等. 移动显示液晶屏上视频图像质量研究 [J]. *液晶与显示*,2006,21(6):609-614.

[11] 何友兵,李大海,李良玉,等. 彩色立体图像匹配算法研究 [J]. *液晶与显示*,2007,22(4):422-423.

Image Coding Using Wavelet-Based Contourlet Transform

TIAN Xiu-wei^{1,2}, ZHENG Xi-feng¹, DING Tie-fu¹
(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China,E-mail:txw1981@126.com;
2.Graduat School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039,China)

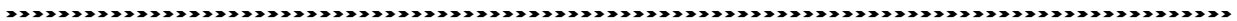
Abstract

As the wavelet-based contourlet transform provides a multi-scale and directional decomposition for images, a new image coding scheme called CSPECK was proposed, which was constructed by wavelet-based contourlet transform and set partitioning embedded block (SPECK) algorithm. In the wavelet-based contourlet transform, the high frequency sub-band decomposed by the wavelet transform was further decomposed into multiple directional sub-bands by directional filter bank so as to explain the edge and texture of the image more sparsely. The SPECK algorithm exhibits lower complexity and

more efficient compression ratio. Experimental results demonstrate that the proposed method is efficient in coding images that possess mostly textures and contours. The simulation results also show that this new coding algorithm increases the PSNR by 0.2~0.6 dB over CSPIHT.

Key words: wavelet-based contourlet; image coding; directional filter bank; PSNR

作者简介:田秀伟(1981—),男,天津人,博士研究生,研究方向图像处理及数字电路设计。



用阿拉伯数字表示的数值的书写规则

1. 4 位和 4 位以上的数字用三位分节法。例如:2 613.3,3.141 592 6,间隙大小为 1/4~1/2 个汉字。
2. 纯小数小数点前的“0”不能省略。
3. 多位数不能断开转行。例如:将一个小数从小数点处断开,小数点留在行末,小数点后的数字移下行行首。;将一个百分数在“%”前断开,将“%”移到下一行等。
4. 阿拉伯数字不能与除万、亿及 SI 词头中文字符号外的汉字数词连用。例如:“十二亿一千五百万”可以写成“121 500 万”或“12.15 亿”但不能写成“12 亿 1 千 5 百万”。
- 当百、千、兆等为法定单位词头时,可以与阿拉伯数字连用。例如:“5 000 米”可以写成“5 千米”,但“5 000 天”不能写成“5 千天”,天不允许加词头。
5. 数值的有效位数应全部写出。

可与国际单位制并用的我国法定计量单位

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时间	分	min	1 min=60 s
	[小]时	h	1 h=60 min=3 600 s
	日,(天)	d	1 d=24 h=86 400 s
	[平面]角	[角]秒	1 "=(1/60) '=(π /648 000) rad
		[角]分	1 '=(1/60) °=(π /10 800) rad
质量	度	°	1 °=(π /180) rad
	吨	t	1 t=10 ³ kg
	原子质量单位	u	1u≈1.660 540×10 ⁻²⁷ kg
旋转速度	转每分	r/min	1 r/min=(1/60) s ⁻¹
体积	升	L,(l)	1 L=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
能	电子伏	eV	1 eV≈1.602 177×10 ⁻¹⁹ J
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	1 tex=10 ⁻⁶ kg/m=1 g/km
面积	公顷	hm ²	1 hm ² =10 000 m ²
长度	海里	n mile	1 n mile=1 852 m(只用于航行)
速度	节	kn	1 kn=1 n mile/h=(1 852/3 600) m/s(只用于航行)