

一种基于 WBCT 的图像编码算法

聂永丹,张 岩,唐国维

(东北石油大学 计算机与信息技术学院,黑龙江 大庆 163318)

摘 要:最新标准的图像压缩算法 JPEG2000 核心是在小波变换的基础上,利用率失真优化算法对所有码块的嵌入式压缩码流进行适当的截取,得到最优的编码率失真性能,提高编码性能。针对小波变换不能充分稀疏表示图像的二维几何特征,从而影响基于小波变换的传统图像压缩算法对图像纹理特征保持效果的问题,提出一种基于 WBCT 变换的 EBCOT 压缩算法。该算法利用基于小波的 Contourlet 变换可以有效地稀疏表示图像纹理区域的特性,根据码块熵最小化原则优化 WBCT 方向分解,降低了码块内系数的复杂程度,提高了 EBCOT 上下文模型编码效率;通过 EBCOT 自适应算术编码与率失真优化截断方法生成压缩码流。实验结果表明,重构图像不仅峰值信噪比 (PSNR) 得到提高,而且对图像局部纹理失真明显减小,证明了该算法的有效性。

关键词:图像编码;小波变换;Contourlet 变换;基于小波变换的 Contourlet 分析;最优截断嵌入码块

中图分类号:TP13

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)01-0074-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.01.016

An Image Coding Algorithm Based on WBCT

NIE Yong-dan, ZHANG Yan, TANG Guo-wei

(School of Computer and Information Technology, North East Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: JPEG2000, a latest standard image compression algorithm, takes the proper interception of embedded bits stream for all code blocks by means of rate distortion optimization algorithm on the basis of wavelet transform and gets the optimal performance of rate distortion for increasing of coding performance. In order to solve the problem that the wavelet transform cannot adequately represent the two-dimensional geometric features of the image, which affects the preservation of the texture area of traditional image processing algorithm based on wavelet transform, EBCOT (Embedded Block with Coding Optimized Transform), a novel image coding algorithm based on WBCT (Wavelet-Based Contourlet Transform), is proposed. It can be sparse representation of the texture area of image effectively by Contourlet Transform based on wavelet and optimizes the decomposition of WBCT by the rule of code block entropy minimization, to reduce the complexity of the coefficients in code block and improve the coding efficiency of EBCOT context model. Through the adaptive arithmetic coding of EBCOT and rate distortion optimization truncation method, the compressed bit stream is generated. The experimental results show that the reconstructed image not only improves the PSNR, but also reduces the distortion of local texture, which verifies its effectiveness further.

Key words: image coding; Wavelet Transform; Contourlet Transform; WBCT; EBCOT

0 引 言

近年来,国内外图像编码技术的研究方法多集中在 DCT 变换^[1]、小波变换^[2],以及在小波变换基础上的改进编码技术,但是小波变换在分析二维信号时并不是最优或最稀疏的函数表示方法^[3]。针对纹理丰富的图像编码遇到的瓶颈,探索结合更有效的稀疏表示方法是图像编码压缩技术的重要方向。DO 等提出的

Contourlet 变换^[4],由于具有多分辨率和多方向性,因此能够较好地表示图像等二维信号所特有的几何特征。由于 Contourlet 变换存在冗余,ESLAMI 等提出了基于小波变换的 Contourlet 分析 (Wavelet-Based Contourlet Transform, WBCT)^[5]。该方法去掉了 LP 滤波器^[6]引起的冗余,形成了非冗余并且可以完全重构的新滤波器组,有效地近似表达二维信号。文献[7]提

收稿日期:2016-12-26

修回日期:2017-04-28

网络出版时间:2017-09-27

基金项目:黑龙江省研究生教育创新工程资助项目(JGXM-HLJ-2015111);黑龙江省教育科学规划重点课题(GJB1215019);东北石油大学青年基金(NEPUQN2014-20)

作者简介:聂永丹(1980-),女,硕士研究生,副教授,研究方向为虚拟现实、图像处理。

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170927.0958.036.html

出基于 WBCT 结合 SPECK^[8] 的图像编码算法 (C-SPECK)。实验结果表明,算法获得的峰值信噪比有一定的提高,而且对局部纹理失真较小;但由于 SPECK 编码算法的 4 叉树分裂方式需要占用大量的内存空间,另外其单通道的比特平面编码方式,与简单的嵌入式编码策略,导致编码率失真性能不是最优的。

JPEG2000 是新一代静止图像压缩标准,其核心算法是最优截断嵌入码块算法 (Embedded Block with Coding Optimized, EBCOT)^[9]。编码的码块之间保持相对独立,有效提高了容错能力。Tier1 编码通过采用 3 个编码通道,能减少每个通道的编码数据量,更有利于率失真的控制,由于增加了位平面编码,因此可以使重要的数据优先编码,从而提高图像编码效率。在 Tier2 编码中,经过率失真优化算法 (Post-Compression Rate-distortion Optimization, PCRD)^[10],对所有码块的嵌入式压缩码流进行适当的截取,得到最优的编码率失真性能。目前该技术已广泛应用于图像传输领域。由于使用离散小波变换 (DWT) 取代了 JPEG 中的离散余弦变换 (DCT),作为 JPEG2000 的核心变换算法,没有对细节丰富的高频子带进行处理,会产生更多的细节信息损失,对纹理丰富的图像压缩效果欠佳。宋蓓蓓等提出了一种结合 WBCT 变换与 EBCOT 的静止图像压缩算法 (CEBCOT)^[11]。该算法依照方向子带大小进行编码块分割,能更稀疏地表示图像的边缘和纹理,获得的压缩图像边缘更加清晰,峰值信噪比也有一定的提高。但存在的问题是从 WBCT 变换角度来看,在对小波高频子带方向滤波时,采取各子带方向滤波分解数目固定的方式进行方向滤波分解,虽然能较好地捕获各高频区域的纹理细节信息,但是没有充分考虑方向滤波产生的系数分布对后续编码的影响,对编码的指导意义不够充分。

文中根据 EBCOT 编码算法的码块划分结构,在小波高频区域 WBCT 分解子带内计算码块的平均熵,以码块的平均熵最小化原则优化 WBCT 分解,降低码块内系数的复杂程度,提高比特平面编码过程邻域系数的相关性,有利于图像编码。经过与同类算法的对比实验,结果表明,压缩图像的数据峰值信噪比有所提高,且图像中纹理区域的保持效果较好。

1 基于码块熵的 WBCT 变换

1.1 WBCT 变换

WBCT 是一种有效的二维信号稀疏表示方法,其思想是利用小波分析中的 Mallat 塔式分解结构,替代 Contourlet 中的 LP 分解,消除 Contourlet 中的冗余。该过程通过采用可分离的滤波器组实现。使用方向滤波器分别对 Mallat 结构的高频子带进行卷积操作,可以

更加稀疏地表示二维图像,分解过程是由不可分离且具有层次结构的扇形滤波器组实现,原理如图 1 所示。

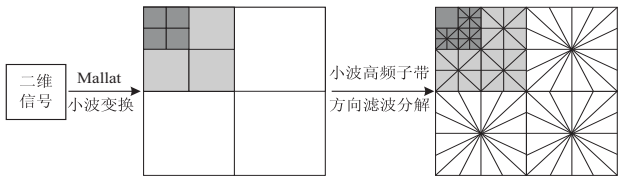


图 1 WBCT 原理示意

WBCT 继承了小波变换和 Contourlet 变换的优点,同时又弥补二者的不足,从而更容易捕捉纹理区域中的几何结构和纹理特性。将 WBCT 应用于编码,小波低频子带一般不进行方向分解,避免造成能量的损失,进而影响信号的编码效果,因此小波高频子带如何优化方向分解以保证编码效率是一个重要问题。

1.2 基于码块熵的 Contourlet 方向分解

由于 Contourlet 将二维信号中临近的奇异点合并成轮廓,使用一个变换系数表示,使二维图像中边缘的系数能量更加具有聚集性。方向分解会引起各个子带中信息熵的变化,并且信息熵的大小与 Contourlet 分解的方向数相关。文献[7]提出采用子带熵^[12]最小化原则作为 Contourlet 方向滤波的优化条件,但是子带平均熵不能体现各个码块的系数分布复杂程度,对基于码块内部相关性的编码算法指导意义不够。EBCOT 在 Tier1 编码过程中,位平面编码后采用的熵编码是自适应二进制算术编码器 MQ,当前所在系数的有效性状态 (significance) 及其周围的 8 邻域所在点的有效性状态如图 2 所示。产生上下文序号 C_x 和二进制判决数据 D ; 概率估计模型则根据 C_x 和 D 选择相应的概率和符号值,在接下来的算术编码部分根据概率和符号值生成最终的压缩数据,如果邻域包含的各个系数分布趋于平均,上下文估计概率准确率将会提高,算术编码得到的编码数据量也相应会减少。

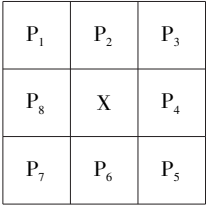


图 2 EBCOT8 邻域示意

因此,最优的方向分解数目应该能够将小波子带内部各个码块信息熵的均值达到最小。文中以码块平均熵最小化原则作为方向滤波的优化条件,有利于提高 EBCOT 编码效率。设 t 为小波分解后的任意一个高频子带,其分解方向数目为 2^j ($j=0,1,2,\dots$),定义该子带任意一个码块 s 的熵为:

$$E_s^{2^j} = - \sum_{i=1}^N p(i) \log p(i) \tag{1}$$

其中, $p(i)$ 为码块 s 中第 i 个系数出现的概率; N 为码块 s 中包含系数的数目。

当对该小波分解产生的子带 t 进行数目不同的方向分解时, 其信息熵的值会发生变化。如果熵值变大, 则表明有轮廓信息被打散; 反之, 则表明有变换系数合并生成轮廓。为此, 对小波变换的某一高频子带 t , 如果分解方向数目为 2^j ($j = 0, 1, 2, \dots$), 则其码块信息熵的均值为:

$$\bar{E}_t^{2^j} = \sum_{s=1}^M E_s^{2^j} / M \quad (2)$$

其中, M 为小波高频子带 t 中包含的所有码块数目。

基于熵的 Contourlet 方向分解优化过程如下:

(1) 对图像进行 L 级小波变换, 得到 $3L$ 个高频子带和 1 个低频子带;

(2) 选取某一待分解小波高频子带 t , 假定其为第 u ($1 \leq u \leq L$) 级, 确定其初始方向分解数为 $2^j = 2^{L-u+1}$;

(3) 若 $\bar{E}_t^{2^j} < \bar{E}_t^{2^{j-1}}$, 则选取方向分解数为 $\bar{E}_t^{2^j} < \bar{E}_t^{2^{j-1}}$, 转步骤(6);

(4) 若 $j \leq 1$, 选取方向分解数为 1, 转步骤(6);

(5) 令 $j = j - 1$, 返回步骤(3);

(6) 如果所有小波变换产生的高频子带处理完毕, 则算法结束; 否则, 返回步骤(2)。

2 基于 WBCT 的 EBCOT 编码算法

EBCOT 算法以块状结构组织变换系数, 利用变换系数的局部相关性可以实现图像的高效压缩, 并具有分辨率可伸缩、质量可伸缩、随机访问等优越性。算法核心部分由两部分组成—Tier1 (块编码) 与 Tier2 (码流组织)^[13-14]。Tier1 模块完成比特平面编码, 并根据码块的上下文模型实现自适应算术编码; Tier2 通过率失真优化算法 (Post Compression Rate Distortion, PCRD), 负责对码流进行优化截断和打包。由于 WBCT 通过小波变换中的 Mallat 金字塔式分解替代了 Contourlet 变换中的 LP 分解结构, 形成非冗余并且可以完全重构的滤波器组, 因此既继承了小波变换和 Contourlet 变换的优点, 又更有利于表达图像纹理区域中包含的几何结构。经过码块平均熵最小化原则优化方向分解后, 使得码块内部系数趋于平均, 有利于提高 EBCOT 基于上下文编码模型的算术编码效率。在进入 EBCOT 编码器之前, 先将小波变换后的各个子带系数分成较小的码块, 推荐大小为 64×64 或 32×32 。考虑每一个代码块完全包含在一个子带中, 码块与其他子带的码块相对独立, 有效提高了数据压缩的

容错能力, 熵编码后通过 Tier2 编码生成码流, 算法描述如下:

(1) 选择双正交小波基 D9/7 对图像数据进行 L 级小波分解;

(2) 依据 1.2 节的算法来确定小波高频子带中最优的方向分解数目;

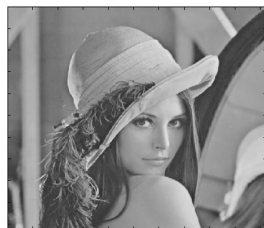
(3) 利用最优方向分解数目, 对小波子带进行方向分解;

(4) 对 WBCT 分解后产生的各子带码块采用 EBCOT 算法编码;

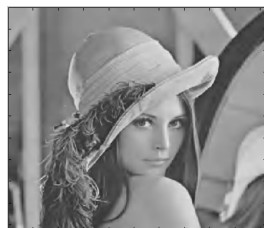
(5) 算法结束。

3 实验结果及分析

仿真图像采用标准测试图像 Lena 和 Barara。在实验过程中, EBCOT 模块设置为 64×64 , 小波基选取适合图像压缩的双正交小波基 D9/7, 小波分解为 5 级, 方向分解滤波器采用 pkva 滤波器^[15]。不同算法的压缩效果如图 3 所示。由于 C-SPECK 算法基于 SPECK 编码算法, 在高压比下导致失真较为严重, JPEG2000 仅采用离散小波变换的压缩效果不及文中算法, 因此文中算法得到的 PSNR 值高于另外两种算法, 并且纹理区域保持良好。



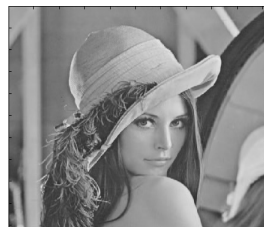
(a) 原图像



(b) C-SPECK 算法 (PSNR=32.37)



(c) JPEG2000 (PSNR=39.69)



(d) 文中算法 (PSNR=39.89)

图 3 不同算法压缩重构效果对比



(a) JPEG2000 (PSNR=34.77)



(b) 文中算法 (PSNR=35.96)

图 4 不同算法压缩重构效果对比

图 4 给出了 Barbara 图像在 0.1 bpp 码率下, JPEG2000 算法及文中算法的编码及部分区域放大效果。可见文中算法纹理复杂区域失真较小。

表 1 是 Barbara 图像在不同码率下,JPEG2000 算法与文中算法编码的 PSNR 值对比。从表 1 可见,文中算法在各码率下均能取得较高的 PSNR,尤其在低码率下,文中算法约超过 JPEG2000 算法 1 dB 左右。

表 1 不同码率下的 PSNR 对比

码率 R	JPEG2000 算法	文中算法
1	66.53	66.73
0.5	50.15	51.79
0.4	46.96	47.53
0.25	42.05	42.77
0.2	40.31	41.16
0.1	34.77	35.96

4 结束语

将 WBCT 与 EBCOT 编码算法相结合,通过码块熵最小化原则优化小波变换高频子带的方向分解,增加码块内部系数的相关性,提高编码效率,利用 EBOCT 编码算法生成编码流。经过对比实验,结果表明,文中算法不仅可以提高峰值信噪比,而且对图像中的局部纹理保持效果较好。

参考文献:

[1] 韦长江,郝鹏威,石青云. 基于整型 DCT 变换的图象编码研究[J]. 中国图象图形学报,2002,7(3):287-291.

[2] 田金文,柳 斌,柳 健. 基于整数小波变换的准无失真图像压缩技术[J]. 电子学报,2000,28(4):64-68.

[3] 何玉杰,李 敏,吕 东,等. 一种基于 Curvelet 变换的红外图像去噪方法[J]. 计算机工程与应用,2011,47(32):191-193.

[4] DO M N,VETTERLI M. Contourlets;a directional multiresolution image representation[C]//Proceedings of IEEE international conference on image processing. [s. l.]:IEEE,2002:357-360.

(上接第 73 页)

[16] DALAL N,TRIGGS B. Histograms of oriented gradients for human detection [C]//IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. [s. l.]:IEEE,2005:886-893.

[17] DÉNIZ O,BUENO G,SALIDO J,et al. Face recognition using histograms of oriented gradients[J]. Pattern Recognition Letters,2011,32(12):1598-1603.

[18] CHENG B,YANG J,YAN S,et al. Learning with l1-graph for image analysis[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2010,19(4):858-866.

[19] YANG Y,WANG Z,YANG J,et al. Data clustering by Laplacian regularized L1-graph[C]//Twenty-eighth AAAI conference on artificial intelligence. [s. l.]:[s. n.],2014:3148-3149.

[5] ESLAMI R,RADHA H. Wavelet-based contourlet transform and its application to image coding[C]//Proceedings of IEEE international conference on image processing. Singapore:IEEE,2004:3189-3192.

[6] 王发牛,梁 栋,程志友,等. 一种基于非抽样 LP 的 Contourlet 变换图像去噪方法[J]. 中国图象图形学报,2009,14(3):458-462.

[7] 唐国维,张 岩,王苦社,等. 基于 Contourlet 方向滤波优化的 SPECK 图像编码算法[J]. 信息与控制,2015,44(6):641-647.

[8] ISLAM A,PEARIMAN W A. An embedded and efficient low complexity hierarchical image coder[C]//Conference on visual communications and image processing. [s. l.]:[s. n.],1999:294-305.

[9] TAUBMAN D. High performance scalable image compression with EBCOT[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2000,9(7):1158-1170.

[10] BALSTER E J,FORTENER B T,Turri W F. Post-compression rate-distortion development for embedded block coding with optimal truncation in Jpeg2000 imagery [J]. International Journal of Image & Graphics,2011,11(4):611-627.

[11] 宋蓓蓓,许录平,孙文方. 一种基于小波的 Contourlet 变换的图像压缩算法[J]. 西安交通大学学报,2007,41(4):479-483.

[12] AULILLINAS F. Entropy-based evaluation of context models for wavelet-transformed images[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2015,24(1):57-67.

[13] 朱悦心,张 静,王 勇,等. JPEG2000 全通道并行 EBCOT-Tier1 编码器结构设计[J]. 电子与信息学报,2006,28(12):2362-2366.

[14] 庄怀宇. 内嵌图像编码中高效码率控制技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2006.

[15] DUNCAN D Y,DO M N. Directional multiscale modeling of images using the contourlet transform[C]//IEEE workshop on statistical signal processing. [s. l.]:IEEE,2003:262-265.

[20] ZHANG L,YANG M,FENG X. Sparse representation or collaborative representation: which helps face recognition? [C]//2011 International conference on computer vision. [s. l.]:IEEE,2011:471-478.

[21] GAO Q,LIU J,CUI K,et al. Stable locality sensitive discriminant analysis for image recognition [J]. Neural Networks,2014,54:49-56.

[22] LEE K C,HO J,KRIEGMAN D J. Acquiring linear subspaces for face recognition under variable lighting[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2005,27(5):684-698.

[23] HUANG G B,RAMESH M,BERG T,et al. Labeled faces in the wild:a database for studying face recognition in unconstrained environments[R]. Amherst:University of Massachusetts,2007.