

基于边界提升变换的图像压缩

朱杰英¹ 王能超²

(华中科技大学计算机科学与技术学院 武汉 430074)¹ (华中科技大学数学与统计学院 武汉 430074)²

摘要 为获得图像中光滑边界的稀疏表达和克服传统量化离散小波系数造成的边界失真,提出了一种基于边界的提升变换。其主要思想是将图像分为边界带和剩余区域两部分,然后对这两部分分别应用一维和二维基于边界的小波变换。边缘的前处理是这种方法的一个重要部分。为了提高编码性能,对两条平行或近似平行的边界线用一条脊线表示,并且对脊线和边界线按照光滑尖锐比进行修剪。最后根据边界小波变换系数的特点给出了合适的编码方法。本方法针对富含边界的图像在峰值信噪比和视觉质量方面比 JPEG2000 均有明显的提高。

关键词 图像压缩,小波变换,稀疏表达,视觉质量,边界保持

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Edge-based Lifting Schemes for Image Compression

ZHU Jie-ying¹ WANG Neng-chao²

(College of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)¹

(School of Mathematics and Statistics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)²

Abstract An edge-based lifting scheme was proposed to give sparse representation for smooth edges in images and also to overcome artifacts around edges caused by quantizing the conventional discrete wavelet coefficients. The main idea is to divide an image into two parts; the image bands along edges and the rest of the image, then one-dimensional edge-based wavelet transform(EWT) and two-dimensional EWT are used for coding the two parts respectively. The preprocessing of the edges is an important part of our approach. To improve the coding performance, we replaced two approximately parallel and close edge segments by one ridge line. We also pruned the detected ridge lines and edges by their smoothness-to-sharpness ratio. Lastly proper coding scheme was given based on the characteristics of EWT coefficients. For images which are rich in edges, our method achieves encouraging results in both peak signal-to-noise ratio and visual quality, compared with JPEG2000.

Keywords Image compression, Wavelet transform, Sparse representation, Visual quality, Edge preservation

1 引言

目前用于图像压缩的主要有离散余弦变换和离散小波变换。然而,当使用离散余弦变换时,图像被分成独立的小块,这样不仅降低编码效率,还会在低码率下带来块状效应。离散小波变换避免了离散余弦变换的缺点,但是当量化步长较大时,在尖锐的边界周围会带来振铃效应和模糊效应。传统的二维小波由沿水平和垂直方向的两个一维小波的张量积构成,它只能对图像中的光滑二维区域进行稀疏表达,很难对光滑边界进行稀疏表达,而图像边界包含着重要的感知信息。为了对边界进行有效的表达,目前文献中主要有 3 类方法:第一类是基于方向的^[1-7],第二类是基于区域的^[8-10],第三类是基于边界的^[11,12]。

基于方向的边界表达方法主要有多方向分解和二维自适应方向分解。多方向分解主要有轮廓波^[1]。尽管轮廓波可以对边界获得比二维张量小波更为有效的表达,但是除了角点,

任何一个边界点都只有一个方向,多方向分解看起来并不是最佳的表达方式。当以提升方式^[13]进行二维离散小波变换时,很容易加入对方向的自适应调整,便产生了二维自适应方向分解,按照需不需要编码,辅助方向信息也分为两类。文献[2]仅对提升格式中的奇相位进行自适应方向变换,它不需要对方向信息进行编码,因为方向信息是从偶相位预测的。它虽然比较简单,但是不能用于低码率,因为量化步长较大时,可能出现编解码两方的方向预测不一致。另一类有辅助信息的,按照能量最小化^[3]或极小化一个 Lagrangian 成本函数^[4,5]。对于边界区域,含有沿边界方向高频分量的子带的大部分系数都比较小,但是含有沿边界方向低频分量和垂直于边界方向高频分量的子带依然有很多大系数。当然,后者可以沿边界方向继续分解^[6]。尽管二维自适应方向分解可以获得比传统二维小波变换要好得多的视觉效果,但是在低码率下,在尖锐边界附近有可能出现刷子状失真。

基于区域的图像压缩^[8-10]主要是将图像递归地分成一些

到稿日期:2011-03-13 返修日期:2011-05-26

朱杰英(1978-),女,博士生,主要研究方向为图像压缩与质量评价,E-mail:zhujiaying7801@163.com;王能超 男,教授,博士生导师,主要研究方向为并行计算、图像处理。

简单区域(比如方块或三角形),并联合一些修剪方式来获得给定码率下的最佳表示。每一个简单区域都可以用一些简单的多项式进行描述。这种方式可以避免小波编码带来的失真,但在低码率下可能会有分割痕迹,而且一般在高码率下并不一定比小波编码有效。

基于边界的编码^[11,12]是首先提取边界信息,然后进行二维片段小波变换。这样,边界两侧的区域不会变换到一起,可以避免振铃失真和模糊失真。但是这种方式会产生很多孤立点(在达到给定的分解级别前已不能进一步分解),如果这些孤立点属于低频子带,则往往会影响编码效率(比如通常情况下峰值信噪比 PSNR 会有所下降)。

本文从图像中存在的一维(光滑边界)和二维匀质区域出发,对它们分别采用一维和二维的基于边界的小波变换,来提高含有大量几何结构的图像的编码效率和视觉质量。对于条带状的区域,即两条窄的平行边界线之间的区域,我们也采用一维边界小波变换。本文的二维边界小波变换不同于文献^[11,12]的是它不会产生孤立点。

2 边界带和脊线带的提取

本文联合 Canny 边界提取算法^[14]和边界尖锐程度检测来提取合适的边界线。这里加上边界点的尖锐度检测,是因为对于非尖锐的边界,传统的小波变换也可以获得较为稀疏的表达,所以在提取边界时对其进行排除。本文定义一个边界尖锐度检测滤波器如下:

$$H_k(z_p, z_q) = G(z_p, z_q) (z_p^{-0.5} - z_q^{0.5})^k \quad (1)$$

式中, G 是光滑滤波器,满足 $G(z_p, z_q) = G(z_q, z_p)$ 并且 $G(0, 0) \neq 0$ 。这里 p 和 q 分别表示两个互相垂直的方向。另外标记 $\tilde{H}_k(z_p, z_q) = H_k(z_q, z_p)$ 。注意到除了一个常数外,形成二维小波高频子带 HL 和 LH 的滤波器也可以用 \tilde{H}_k 和 H_k 来表示。 k 相应于小波滤波器的消失矩阶数。如果 $k=1$,则将 H_k 和 \tilde{H}_k 看作一对梯度算子。将 H_k 和 \tilde{H}_k 对图像 I 进行卷积得到图像 D_p 和 D_q ,定义像素点 $I(m, n)$ 处的尖锐度为:

$$V_k(m, n) = \mu_A^{-1} \|[D_p(m, n), D_q(m, n)]\| \quad (2)$$

式中, A 为像素点 $I(m, n)$ 的梯度方向; μ_A 为标准化因子,它随方向 A 变化,后面会给出它的计算公式;范数 $\|\cdot\|$ 的形式依赖于 k ,选择那个能使 μ 随方向 A 变化(即标准差)最小的。这里要求 k 为一个奇数,是因为要获得在边界点处 M 为一个极大值而不是极小值。本文定义沿 p 方向的光滑度:

$$S_p(m, n) = v^{-1} |D_p(m, n)| \quad (3)$$

式中, v 为标准化因子。令二维单位阶梯方程如下:

$$E(\theta, x, y) = \begin{cases} 0, & x \cos \theta + y \sin \theta = 0 \\ 0.5 \operatorname{sign}(x \cos \theta + y \sin \theta), & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

如果令 $I(m, n)$ 为单位阶梯图像 $E(A, m, n)$, 这里 $-N < m, n < N$, 并且 N 要不小于滤波器 H_k 模板的最大直径的一半,那么 $\mu_A = \|[D_p(0, 0), D_q(0, 0)]\|$ 。如果沿 p 方向的角度为 α , 并且令 $I(m, n) = E(\alpha, m, n)$, 那么 $v = |D_p(0, 0)|$ 。本文采用如下的滤波器:

$$H_k(z_1, z_2) = 0.5 G_\sigma(z_x, z_y) (z_2^{0.5} + z_2^{-0.5}) (z_1^{0.5} - z_1^{-0.5})^k \quad (5)$$

式中, $z_1 = z_x z_y^{-1}$, $z_2 = z_x z_y$, $G_\sigma(z_x, z_y)$ 为高斯函数的脉冲响应滤波器。目前最佳的用于图像有损压缩的 CDF9/7 小波滤波器具有 4 阶消失矩,所以当计算边界的尖锐度时,本文采用

$k=3$ 并对其采用 1-范数(当 $k=1$ 时, 2-范数最好)。提取边界时,当梯度和尖锐度都大于一定的阈值(也即要求 $V_1 < T_1$ 和 $V_3 < T_3$) 且为沿梯度方向的局部极大值点才留下为边界点。这里高斯函数的标准偏差 σ 的选取要合适;如果过大,则一些两条非常接近的平行边界线就会被光滑掉;如果太小,提取的边界的连续性不好。对得到的边界点进行连接并删除短的边界线。

两条很接近的平行边界线之间的区域用一维变换更合适,而且这两条近似平行边界线可以用一条线(本文称它为脊线)来表示。脊线点的标记方法如下:首先,对于每一个边界点,如果此点的梯度方向更接近水平(或垂直)方向,则沿水平(或垂直)方向在给定距离(本文采用 16 个像素)内检测是否有另一个方向接近的边界点存在。如果存在,则在中点处标记其为一个脊线点;然后,对所有的边界点沿 45 度(或 -45 度)进行类似的检测和标记。连接所有的邻接脊线点形成脊线,这时形成的脊线对应的两条边界线并不一定平行。本文检测脊线带局部宽度的一致性来删除或断开脊线,接着删除短的脊线和留下来的脊线对应的边界点,最后删除短的剩余边界线(长度 $< T_L$)。

然后用折线表示保留的边界线或脊线;对任一条曲线,首先连接两端点形成一条直线,然后搜索曲线上离该直线最近的像素点。如果最远距离大于给定的阈值,就将该点作为新的节点,然后递归搜索新的节点。

本文需要对按前面的方法得到的边界线和脊线进行光滑和尖锐程度的测试:沿边界方向越光滑,越适合一维小波变换;沿垂直于边界的方向越尖锐,越不适合二维小波变换。定义一段边界线(或脊线) L 的光滑度 Ω 和尖锐度 Λ 如下:

$$\Omega = \int_{-\delta}^{\delta} \int_L S_l dl dw / \int_{-\delta}^{\delta} \int_L dl dw \quad (6)$$

$$\Lambda = \int_L V_k dl / \int_L dl \quad (7)$$

式中, S_l 和 V_k 如式(3)和式(2)定义; δ 对脊线来说为脊线带的半宽,边界为允许的边界带的最大半宽。实际操作中,按离散形式对式(6)和式(7)进行计算。定义关于 L 的光滑尖锐比为 $R = \Omega / \Lambda$ 。考虑到 R 具有局部性,对曲线进行分段。首先将每一节(两个节点之间的线段)看作一段,然后重复下面的步骤直到停止:对于每一条已经用折线表示的曲线来说,找到具有最小拐角的内部节点,如果小于给定的转角 T_A , 则节点两侧的两段合并为一段。

对于每一子段检测其光滑尖锐比 R 是否小于给定阈值 T_R 来决定是否保留该子段。 T_R 随子段长度 $|L|$ (以像素为单位)而变化,本文采用:

$$T_R(|L|) = \begin{cases} a + (b-a)|L|/L_0, & |L| < L_0 \\ b, & \text{其它} \end{cases} \quad (8)$$

最佳参数 a 和 b 可以按如下方式获得:选取含有大量边界的一组图片,在给定一些常用码率下,得到最佳平均图片质量(比如 PSNR)时的参数值。

检测结束后,删除短的边界线和脊线,得到最终需要的。脊线带的宽度可以按对应的两条(近似)平行边界线之间的(平均)距离选取。由于用直线段表示边界线可能有所偏离,对于边界带的两侧宽度则分别进行计算。通常边界带的最大允许宽度 5 至 7 个像素比较合适(本文中采用 5 个),最小宽度 3 个像素比较合适。对于每一节线段,沿每一侧从里向外

计算平均梯度(梯度按相邻像素的差值),如果新计算的平均梯度幅值较前面的有较大的下降,则到达边界带的边缘。最后对同一条边界(或脊线)的所有节的半宽度进行平均。

3 边界小波变换

3.1 一维边界小波变换

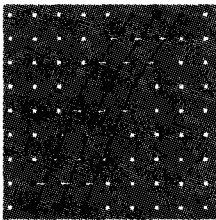
对于任何一个直线段,规定它的主方向就是连线的方向。如果主方向更接近于水平(垂直)方向,则规定它的次方向为垂直(水平)方向。图1中给出了一个边界带(或脊线带)的离散域表示。跟传统的一维离散小波变换不同的是,一维离散边界小波变换的样点全部按基线(如图1黑线所示)对齐,并不一定位于一维变换的整格点上,需要沿次方向进行插值。这里采用提升格式的小波变换。标记边界带(或脊线带)的像素点为 $c^0(l, w+s(l))$ (如图1黑点所示), l 是沿主方向的整数位置, w 是沿次方向的整数位置, s 为沿次方向的偏移(如图1中白线所示),它随 l 而变化。标记一维小波变换的低频子带为LE,高频子带为HE。下面给出第 j 级($j=1, 2, \dots$)分解。首先,将第 $j-1$ 级的LE子带(LE^{j-1})的系数 $c^{j-1}(l, w+s(2^{j-1}l))$ 沿长度方向分裂为奇部 c_o^{j-1} 和偶部 c_e^{j-1} :

$$\begin{cases} c_o^{j-1}(l, w_o) = c^{j-1}(2l+1, w_o) \\ c_e^{j-1}(l, w_e) = c^{j-1}(2l, w_e) \end{cases} \quad (9)$$

式中, $w_o = w+s(2^j l + 2^{j-1})$, $w_e = w+s(2^j l)$ 。第二步,进行几对预测和提升:

$$\begin{cases} c_o^{j,r}(l, w_o) = c_o^{j,r-1}(l, w_o) - \sum_n p_{r,n} c_e^{j,r-1}(l-n, w_o) \\ c_e^{j,r}(l, w_e) = c_e^{j,r-1}(l, w_e) - \sum_n u_{r,n} c_o^{j,r-1}(l-n, w_e) \end{cases} \quad (10)$$

式中, $r=1, \dots, R$,第 r 对预测滤波器系数 $p_{r,n}$ 和提升滤波器系数 $u_{r,n}$ 为普通一维小波预测与提升时的滤波器系数。从式(10)中预测项 $c_e^{j,r-1}(l-n, w_o)$ 和 $c_o^{j,r-1}(l-n, w_e)$ 多数并不位于整数像素点的位置,沿次方向上的同类系数对其进行插值。由于沿穿越边界方向的像素值通常是跳跃地或倾斜地变化,高阶的多项式插值并不必要,因此这里采用最近的两个邻居系数进行线性插值(内插或外插)。第三步,进行了 R 对预测与提升后,对得到的 j 级分解系数的低频和高频系数分别乘以或除以尺度因子 S ,并标记 $c^j(l, w+s(2^j l)) = c_o^{j,R}(l, w_o) \times S$,并开始进行下一级分解。在脊线带的两端处,对样点采用对称边界延拓。为了使分解的系数能量更为集中,对最后得到的LE子带(即不再进一步分解),可以(当然也可以省略此步)沿次方向用支集较短的小波滤波器(比如 Haar 小波滤波器)对其进行进一步分解。



黑点和白点分别用1维和2维边界小波变换的像素点。三条黑色长线表示平行的基线,中间的一条为经过折线表达后的边界线或脊线,这里也称它为中心线,框起来的3个点为节点。水平短白线为沿次方向偏移的实际距离。

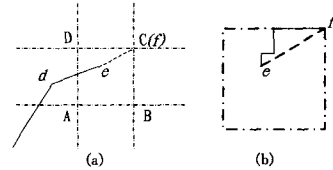
图1 边界带(或脊线带)的离散域

3.2 二维边界小波变换

被一条边界带分开的两边区域多数都是匀质的,可以考

虑用Li等提出的基于物体的形状自适应小波变换^[15]。它的主要优势在于:一是在边界处采用对称延拓的形式,用对称小波滤波器就不会产生冗余;二是每进行一次行(或列)变换后,孤立系数被分入低频子带,不论它原来处于奇数位置或是偶数位置;三是属于同一个物体的子带系数可以一起进行变换,无论它们之间是否有边界阻隔,这样可以有效地避免孤立点的问题。但是那里的每一个独立变换的区域都是封闭的,而这里提取的边界并不一定是闭合的。将用添加虚边界的形式来有效解决这个问题。这里添加的虚边界并不需要闭合,只要能避免边界两侧的区域变换到一起,并且不会产生孤立点即可。

考虑到要对剩余的2维区采用可分的小波变换,我们可以分别标记水平区域和垂直区域。也即只有拥有同一个水平(或垂直)区域标号才能一起进行水平(或垂直)方向的变换。如果最大的分解级别是 J 级,那么将 $(2^j m - 0.5, 2^j n - 0.5)$ 作为格点,这里 m, n 为整数。这样,当进行水平(或垂直)方向变换时,可以用水平(或垂直)格线作为辅助边界,那么对边界或脊线的虚边界就可以很容易添加了。图2给了一个例子。在每一个端点所在的网格内,寻找最近的另一个允许的点,这一个允许的点可以是一个格点或另一条边界线的端点。要求这个允许的点满足:新形成的虚线段(比如图2中 $e \rightarrow f$)与最后一节线段(比如图2中 $d \rightarrow e$)相比,沿水平或垂直方向没有回退或只有少量的回退。由于虚边界并不是真实的边界,变换可以穿越完整的虚边界(注意必须是完整的)来避免边界效应和提高编码效率。另外,为了得到更多偶数长的片段,如图2(b)所示,沿之字型的路径画线,而不是画一条斜线。对于两侧的剩余像素均值差大的非闭合脊线,也和非闭合边界一样添加虚边界。



其中 e 是一条边界的端点, d 和 e 均为该边界的节点,虚线段 ef 为新添加的虚边界。A, B, C和D均为格点,点划线AB, BC, CD和DA均为格线。

图2 关于添加虚边界的一个例子

3.3 总体变换步骤

如果边界带和脊线带与剩余的区域分别进行独立的变换,则在低中码率下可能有分割的痕迹,所以在中等码率以下对边界带(或脊线带)两边进行扩展和剩余二维区重叠。这种重叠不会带来冗余,并且如果全部采用提升的方式,可实现图像完全重构。其唯一的条件是一维边界小波变换必须在二维边界小波变换之前进行。

具体步骤如下:

- (1)对扩展后的边界带(或脊线带)进行正向一维边界小波变换。
- (2)对扩展的边界带(或脊线带)上的小波系数进行逆向变换,然后用重构后的系数替换剩余二维区域上相应位置上的像素值。
- (3)对剩余二维区进行正向二维边界小波变换。

这里,任何一边的扩展带宽为3个像素已经足够。需要注意的一点是,扩展的位置处若没有可用的剩余区域像素(比如超出图像范围,该点已位于另一个边界带的范围,或者已经作为一个扩展像素点),就将该扩展点的值设为零。由于全部正向变换均采用提升方式,重构图像时逆向操作即可。

4 编码方式

编码有两部分:一部分是关于边脊带的少量辅助信息;另一部分是关于变换后的小波系数,这部分为主体。关于辅助信息,我们需要分别扫描边界带和脊线带的分布图。编码一条带需要记录半带宽(注意边界带需要记录两个半宽,因为两侧的宽度可能不同)、起始点位置、每一节点与前一节点的位置差(采用游程长编码+正负符号编码)。为了减少一条边界或脊线起始点记录的位数,采用对图像进行分块(比如每块的大小为 $2^6 \times 2^6$),每扫描完起点位于同一块的所有边界线(或脊线),输出一位‘0’,进入下一块。这样,起点位置可以用固定的少量位数(比如 $6+6=12$)输出。

当编码子带系数时,并不像 JPEG2000^[16]那样将子带划分成码块,而是将每一个子带作为一个码块。同时采用和 JPEG2000 类似的每层位平面进行三重扫描(系数显著性扫描、幅值细化扫描和清除扫描)。最优截断点的计算方式类似 EBCOT^[17]。但是,由于大多数码块比较大,截断的码率可能高预设的码率有较大的差距。对此在剩余的码块中找到关于率失真函数的斜率最大的一个,把它所属的子带作为最后一个扫描的子带。这样扫描完其它子带后,扫描可以停在与实际码率相符的位置。

由于把图像分割成边脊带和剩余区域,一部分系数的8邻域中一些系数可能并不存在,因此这里的显著性上下文采用新的标记方案。把一个系数的8邻域拆成两个4邻域:沿水平垂直方向的4邻域(记为HV)和沿两对角方向的4邻域(记为DD)。4邻域的状态按表1标记,其中C0,C1和C2分别表示四邻域中还没有显著的、从前一位平面显著的和更靠前的位平面显著的数目,×表示这一项不考虑。然后从这两个四邻域的状态按表2进行上下文(除HH子带)的状态标记(总共8种)。HH子带的上下文标记采用 JPEG2000 所使用的方法。

表1 四邻域状态标记

C0	C1	C2	状态
0	0	0	S0
×	1	0	S1
×	>1	0	S2
×	×	1	S2
×	×	>1	S3

表2 上下文状态标记

	HV(S0)	HV(S1)	HV(S2)	HV(S3)
DD(S0)	1	5	7	8
DD(S1)	2			
DD(S2)	3	6		
DD(S3)	4			

本文发现穿过边界两侧的小波系数符号反号的较多,而沿着边界的小波系数符号同号的较多。由于不同的高频子带含有一定的方向性,本文用了两个符号模板,如图3所示。高频子带与所使用的符号模板为 HL(TS1), LH(-TS1), HH

(-TS2)和 HE(Ts1)。当预测符号时,将已经显著的4邻域系数的符号与所用模板的符号相乘并求和。如果和为0,则用一位输出该被预测系数实际的符号,否则查看和的正负是否与该系数本身一致而进行算术编码。关于细化通道,系数被分为了两类:一类为刚从前一位平面显著的,一类为其余的已经显著的。分别对这两类进行编码,这是因为前一类为零的概率较后一类大。

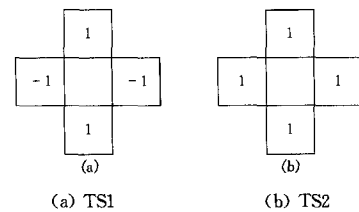


图3 符号模板

当扫描位平面时,对于 LE 和 HE 子带,先沿次方向扫描,然后沿主方向扫描。对于其它子带,沿 Hilbert 二维空间填充曲线进行扫描。在扫描清除通道时,对于上下文预测为不显著(即表1中的状态1)初始全部设为游程编码,并且对于每一个子带统计(包括编解码双方)每一位平面该子带的上下文为1的显著系数总数(记为M)和非显著系数总和(记为Z)。如果比值Z/M变得比较小(比如64),对该子带后面的所有位平面全部转为算术编码。第一个扫描的位平面不必是实际的最高位平面,只要略大于像素值的最高位平面即可(比如对8位的灰度图,可以设置最高位平面为10)。对于扫描的第一个位平面中显著的系数幅值(量化后的),按实际值记录。

5 实验结果

本节将测试几幅含边界较多的8位标准灰度图片来对本文方法和 JPEG2000 进行比较,这些图片为 Lena, Peppers, Boat, Airplane, Cameraman 和 House。前4个的尺寸为 512×512 ,后两个的尺寸为 256×256 。标记本文的方法为 ELC。这里对 JPEG2000^[18]和 ELC(包括一维和二维小波变换)均采用9/7小波滤波器且最大分解级别设为6级。对 ELC,在提取边界带和脊线带时所用到的参数值设置如表3所列。实际中,这些值上下有少量的浮动,但并不会对效果造成太多影响。除了a,b按优化平均PSNR所得,其余均按经验值设置。当按式(6)计算线段的光滑度时,为和计算尖锐度滤波器的消失矩一致,并使其支集沿次方向尽量短些,这里用2/6小波滤波器^[19],此时对应的式(3)中的标准化因子为 $v=0.75$;对前两个尺度的一维边界小波系数求平均而得到光滑度。这里仅对码率<1位/像素(bpp)采用3.3节所述的边界带扩展重叠变换。

表3 本方法的缺省参数值设置

σ	T _L	T ₁	T ₃	T _A	L ₀	a	b
1.25	16	0.09	0.04	$\pi/3$	64	0.25	0

从图4可以看出,边界带和脊线带及它们周围的大系数显著降低,从而能量更为集中,表明边界小波具有稀疏表达的能力。从图5可以看出提取的初始边界和最终边界的差异。尽管我们编码了比较细致的结构,但从表4来看,辅助码率很低。

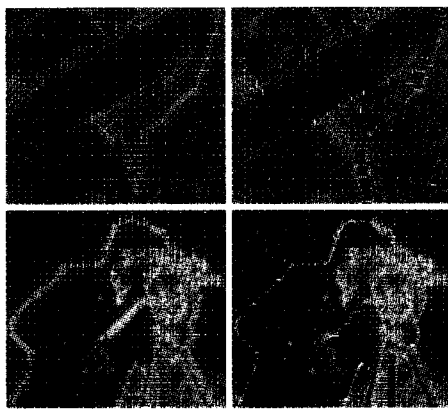


图4 关于图像(Lena和Cameraman)的系数片段(包含了所有子带)幅值比较

图4 关于图像(Lena和Cameraman)的系数片段(包含了所有子带)幅值比较

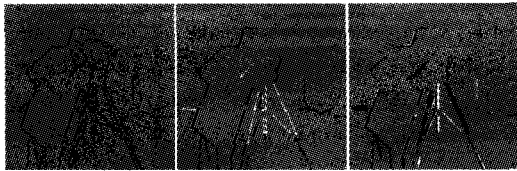


图5 关于图像Cameraman的边界带和脊线带的提取

图5 关于图像Cameraman的边界带和脊线带的提取

表4 关于辅助信息的码率

图像	Lena	Peppers	Boat	Airplane	Cameraman	House
bpp	0.012	0.013	0.013	0.012	0.020	0.022

表5 关于JPEG2000和ELC在PSNR性能上的比较(标号1指示用JPEG2000压缩解码后的PSNR(dB)值,标号2指示ELC相比于JPEG2000在PSNR(dB)上的增量值)

图像	标号	0.0625	0.125	0.25	0.5	1	2
Lena	1	28.01	30.97	34.10	37.27	40.42	44.64
	2	0.40	0.26	0.11	-0.12	-0.05	0.33
Peppers	1	27.32	30.56	33.44	35.87	38.36	43.14
	2	0.76	0.65	0.42	0.23	0.17	0.23
Boat	1	25.70	28.04	31.01	34.59	39.24	44.68
	2	0.37	0.38	0.31	0.27	0.14	0.25
Airplane	1	25.67	29.11	32.60	36.61	41.27	46.56
	2	0.67	0.37	0.33	0.28	0.18	0.42
Cameraman	1	21.26	24.08	27.20	30.93	36.49	44.01
	2	1.83	1.75	1.45	1.12	0.98	0.51
House	1	24.57	28.84	32.53	36.13	40.54	46.49
	2	3.06	2.41	1.72	0.86	0.47	0.47

接着在表5和表6中分别比较了JPEG2000和ELC在PSNR和VGS^[20]方面的性能。PSNR是传统的测试值,它主要测量压缩后的图片在颜色(或灰度值)方面的保持性。由于PSNR和人眼觉察的图片的主观质量有时并不一致(或相关性不高),这里用VGS来预测主观图片质量。目前VGS是预测主观图片质量时相关性最高的,而且预测值与主观质量具有线性相关性。VGS是一个全参考度量,值越大,图片主观质量越好。如果压缩解压后的图像和原图完全一致,则VGS值为1。VGS2为VGS考虑观看距离和屏幕分辨率的一种,这里计算VGS2时采用观看距离大概为1833屏幕的图像像素。表5和表6中的码率对ELC来说包括编码辅助信息部分。从表5和表6可以看出,在多数情况下,ELC取得了比

JPEG2000更高的PSNR值和VGS2值,而且在低码率下更明显些。

表6 关于JPEG2000和ELC在VGS2性能上的比较(标号1指示用JPEG2000压缩解码后的VGS2(×100)值,标号2指示ELC相比于JPEG2000在VGS2(×100)上的增量值)

图像	标号	0.0625	0.125	0.25	0.5	1	2
Lena	1	44.24	58.56	72.01	83.11	91.11	95.92
	2	0.94	0.65	0.14	-0.44	-0.03	0.49
Peppers	1	45.69	59.73	71.45	81.01	88.20	94.47
	2	1.02	1.37	1.59	-0.02	-0.21	0.69
Boat	1	36.28	47.43	61.54	77.01	89.77	96.54
	2	0.72	0.53	0.58	0.71	0.25	0.18
Airplane	1	36.66	51.16	66.27	80.29	90.89	96.65
	2	0.83	1.69	0.73	0.85	0.73	0.41
Cameraman	1	22.11	31.47	45.89	66.41	83.42	96.15
	2	4.22	9.10	9.20	3.22	2.30	0.45
House	1	24.50	42.66	58.89	75.10	88.44	96.66
	2	12.86	9.51	7.29	3.46	1.78	0.38

从图6中可以看出在同样码率下,被ELC压缩后的图片看起来更舒服,边界的保持性也好很多。另外,还可以看出,随着码率的增加,被JPEG2000压缩的图片的振铃效应会逐渐减弱,但在达到一定的码率前依然存在,而ELC无论在任何码率下在边界带和脊线带及其附近都不存在这些问题。

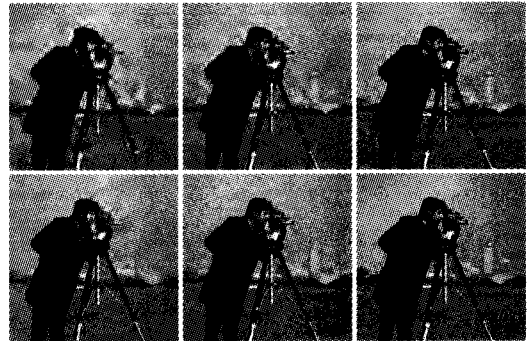


图6 关于JPEG2000(上面一行)和ELC(下面一行)解码后的图像比较

图6 关于JPEG2000(上面一行)和ELC(下面一行)解码后的图像比较

结束语 从图像分割出边界带和脊线带,对两部分分别用一维和二维边界小波变换,可以得到更稀疏的表达方式。一维边界小波变换避免了传统小波在低码率下大部分的振铃效应和模糊效应,并具有良好的边界保持性。提出的二维边界小波保证了剩余区域变换的高效性,即避免了传统基于边界的小波变换产生的大量孤立点。无论在PSNR上还是主观视觉质量上,本压缩方法时对于富含光滑尖锐边界的图像可以明显超过JPEG2000。

参考文献

- [1] Do M N, Vetterli M. The contourlet transform: An efficient directional multiresolution image representation[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2005, 14(12): 2091-2106
- [2] Gerek O N, Cetin A E. A 2-D orientation-adaptive prediction filter in lifting structures for image coding [J]. IEEE Trans. Image Process, 2006, 15(1): 106-111
- [3] Wang D, Zhang L, Vincent A, et al. Curved wavelet transform for image coding[J]. IEEE Trans. Image Process, 2006, 15(8):

- [4] Ding W, Wu F, Wu X, et al. Adaptive directional lifting-based wavelet transform for image coding [J]. IEEE Trans. Image Process, 2007, 16(2): 416-427
- [5] Chang C, Girod B. Direction-adaptive discrete wavelet transform for image compression [J]. IEEE Trans. Image Process, 2007, 16(5): 1289-1302
- [6] Pennec E L, Mallat S. Sparse geometric image representations with bandelets [J]. IEEE Trans. Image Process, 2005, 14(4): 423-438
- [7] Velisavljevic V, Beferull-Lozano B, Vetterli M. Space-frequency quantization for image compression with directionlets [J]. IEEE Trans. Image Process, 2007, 16(7): 1761-1773
- [8] Shukla R, Dragotti P L, Do M N, et al. Rate-distortion optimized tree-structured compression algorithms for piecewise polynomial images [J]. IEEE Trans. Image Process, 2005, 14(3): 343-359
- [9] Alani D, Averbuch A, Dekel S. Image coding with geometric wavelets [J]. IEEE Trans. Image Process, 2007, 16(1): 69-77
- [10] Wakin M, Romberg J, Choi H, et al. Wavelet-domain approximation and compression of piecewise smooth images [J]. IEEE Trans. Image Process, 2006, 15(5): 1071-1087
- [11] Mertins A. Image compression via edge-based wavelet transform [J]. Optical Engineering, 1999, 38(6): 991-1000
- [12] Schilling D, Cosman P C. Preserving step edges in low bit rate progressive image compression [J]. IEEE Trans. Image Process, 2003, 12(12): 1473-1484
- [13] Daubechies I, Sweldens W. Factoring wavelet transforms into lifting steps [J]. J. Fourier Anal. Appl., 1998, 4(3): 247-269
- [14] Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 1986, 8(6): 679-698
- [15] Li S, Li W. Shape-adaptive discrete wavelet transforms for arbitrarily shaped visual object coding [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 2000, 10(5): 725-743
- [16] Rabbani M, Joshi R. An overview of the JPEG2000 still image compression standard [J]. Signal Process.: Image Process., 2002, 17(1): 3-48
- [17] Taubman D. High performance scalable image compression with EBCOT [J]. IEEE Trans. Image Process., 2000, 9(7): 1158-1170
- [18] Adams M D, Jasper [EB/OL]. <http://www.ece.ubic.ca/~md-adams/jasper/>, JasPer version 1, 900. 1
- [19] Adams M D, Kossentini F. Reversible integer-to-integer wavelet transforms for image compression: performance evaluation and analysis [J]. IEEE Trans. Image Process, 2000, 9(6): 1010-1024
- [20] Zhu J, Wang N. Image quality assessment by visual gradient similarity [J]. IEEE Trans. Image Process (submitted)

(上接第 282 页)

表 1 列出了采用本文方法前后, 协同语义特征建模系统调用全局约束求解器次数的比较情况。其中“总特征数”是指最终完成的模型中的特征数量(即各个客户端中特征数量之和)。“使用前”和“使用后”是指在完成模型后, 各个客户端调用约束求解器次数之和与模型总特征数的比值。比值越小, 说明在设计相同规模的模型时约束求解器被调用的次数越少, 系统性能也会越高。由于本文提出的算法采用语义区域划分的方法, 将很多操作的有效性验证限定在本地系统中, 并只有在本地系统验证有效且确定它对其它客户端中的子模型有影响时才需要共同验证, 因此这种方法对全局约束求解的调用次数明显减少。

表 1 约束求解调用(平均)次数比较

总特征数	使用前	使用后	效果
1~20	0.55	0.23	好
20~50	0.71	0.29	优
50~100	0.83	0.33	优
100 以上	0.92	0.36	优

另外从表 1 中可以看到, 由于传统的“细胞元”模型在进行特征交互检测时需要把所有的特征之间的关系进行约束求解计算, 即需要进行 C_n^2 (n 为模型中的特征数量) 次求解, 当模型中特征数量增加时需要进行的约束求解次数就会大幅度增长, 因此对于复杂模型来说, 传统“细胞元”模型的性能就会受到限制。而本文算法中提出的改进的“细胞元”模型, 在传统“细胞元”模型的基础上构建了特征的“最值空间”, 使得特征交互检测被限定在“最值空间”相交的特征之间进行。这样就大大减少了特征交互检测的实际计算量, 因而可以大大提高系统的整体性能。

结束语 冲突检测和消解是语义特征建模系统性能的瓶颈之一。采用任务角色和权限等方法的传统解决方案不仅机制复杂, 需要大量的计算时间, 还受网络质量、模型复杂度以

及约束求解效率等因素的影响, 因此很难满足和适应当前国际市场对建模系统性能的要求。而本文介绍的方法不仅机制简单, 数据传输量少, 还可以进行快速的冲突检测和消解, 因此具有广泛的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Bidarra R, Bronsvoort W F. Semantic feature modeling [J]. Computer-Aided Design, 2000, 32(3): 201-225
- [2] Bronsvoort W F, Bidarra R, Nyirenda P J. Developments in feature modeling [J]. Computer-Aided Design and Applications, 2006, 3(5): 655-664
- [3] De Lucia P A, Fasano F, Scanniello P G, et al. Enhancing collaborative synchronous UML modeling with fine-grained versioning of software artifacts [J]. Journal of Visual Languages and Computing, 2007, 18(5): 492-503
- [4] Anderl R, Mendgen R. Modelling with constraints: theoretical foundation and application [J]. Computer-Aided Design, 1996, 28(3): 155-168
- [5] Lee J Y, Kim K. A 2-D geometric constraint solver using DOF-based graph reduction [J]. Computer-Aided Design, 1998, 30(11): 883-896
- [6] Ge Jian-xin, Chou Shang-ching. Geometric constraint satisfaction using optimization methods [J]. Computer-Aided Design, 1999, 31(14): 867-879
- [7] 金瑛浩, 孙立铸. 基于特征语义的模型表示法研究 [J]. 计算机科学, 2011, 38(1): 286-289
- [8] 金瑛浩, 孙立铸. 语义特征建模系统中参数范围计算的研究 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(5): 13-16
- [9] Bidarrat R, de Kraker K J, Bronsvoort W F. Representation and management of feature information in a cellular model [J]. Computer-Aided Design, 1998, 30(4): 301-313
- [10] Bidarra R, Madeira J, Neels W J, et al. Efficiency of boundary evaluation for a cellular model [J]. Computer-Aided Design, 2005, 37(12): 1266-1284