

基于 ISA-DWT 的多个任意形状 感兴趣区域编码框架

徐 平 朱善安

(浙江大学电气工程学院, 杭州 310027)

摘 要 提出了一个多个任意形状感兴趣区域编码框架。通过引入灰度掩膜图像来表示不同感兴趣区域的优先级, 在总的目标码率和各个优先级感兴趣区域重建质量的约束条件下, 按照优先级从高到低的顺序对不同的感兴趣区域采用整数到整数形状自适应离散小波进行变换, 对变换后的系数采用修改的 SPIHT 算法产生单独的压缩码流。实验结果表明, 本编码框架有如下优点: (1) 根据感兴趣区域的优先级顺序来保证感兴趣区域的目标重建质量; (2) 适合于任意形状感兴趣区域的有损和无损压缩; (3) 感兴趣区域重建质量估计方法简单有效。

关键词 整数到整数形状自适应离散小波变换 SPIHT 感兴趣区域 图像压缩

中图分类号: TP391 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)10-1426-05

Multiple Arbitrary Shape ROIs Coding Framework Using ISA-DWT

XU Ping, ZHU Shan-an

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract In this paper, we propose a new multiple arbitrary shape regions-of-interest (ROIs) coding framework. Gray mask is incorporated to manifest the priorities of the multiple ROIs. Multiple ROIs are transformed sequentially by the ISA-DWT according to their priorities with different constraints of the target bitrate and the reconstructed regional fidelity of different priorities. Then the set partitioning in hierarchical trees (SPIHT) algorithm is modified to generate the separate compression bit streams. Experimental results show that the proposed coding framework has the following novelties: (1) it ensures the quality of the reconstructed ROIs according to their priorities; (2) it is fit for arbitrary shape ROI loss and lossless coding; (3) it achieves low complexity by reaching the target ROI PSNR.

Keywords integer-to-integer SA-DWT, SPIHT, ROI, image compression

1 引 言

在许多应用领域中, 如遥感图像和医学图像存储和传输等, 重要的信息是分布在总图像区域中若干个较小任意形状的区域, 这些区域需要保证一定的高重建质量, 而剩下的区域可采用低质量重建。基于对象的编码是 MPEG4 中最重要的概念之一, 它允许不同的对象有不同的重建质量, 并为每个对象产生一个单独的码流。文献[1]、[2]提出了一种基于形状自适应离散小波变换的多个任意形状感兴

趣编码算法, 产生不同感兴趣区域相互交织的压缩码流。然而, 该算法不能按照优先级的顺序对不同感兴趣区域进行编码并对每个优先级产生独立的码流, 其次, 该算法不能提供适合于有损和无损压缩的编码框架。

整数到整数形状自适应离散小波变换^[3]为任意形状的静态图像提供了良好的压缩性能, 其小波域中系数的个数等于图像域中任意形状像素点的个数, 保持了传统小波变换的空间相关性、局部特性和子带间的自相似性, 并适合有损和无损压缩。由于经典的 SPIHT 算法^[4]具有低复杂性及良好的长度

收稿日期: 2005-03-30; 改回日期: 2005-10-08

第一作者简介: 徐平(1978 ~), 男, 博士。主要研究领域包括图像压缩和视频信号处理与通信等。E-mail: pingxu@tom.com

失真压缩性能,将其进行修改后对任意形状区域图像变换后的系数进行编码。为了充分利用比特率,各个区域的不同目标重建质量是通过优先分配比特数给高优先级的区域,剩余的比特数分配给低优先级的区域来实现的。

本文提出一个多个任意形状感兴趣区域编码框架,它能够根据区域的优先级顺序优先保证高优先级感兴趣区域的重建质量,并适合于有损和无损压缩。由于不同的感兴趣区域可有不同的形状和优先级,采用一个灰度掩膜图像来表示不同感兴趣区域的优先级。根据 Parseval 能量保持定理,在编码端通过获得重建感兴趣区域小波系数的估计值来估计感兴趣区域的重建质量。在总的目标比特率和各个优先级感兴趣区域重建质量的约束条件下,对各个优先级的任意形状感兴趣区域按照优先级从高到低的顺序,采用整数到整数形状自适应离散小波来变换图像,然后对变换后的系数采用修改的 SPIHT 算法产生单独的嵌入式压缩码流。

2 多感兴趣区域的灰度掩膜图像

设图像平面 Ω 被分成 $N-1$ 个感兴趣区域 $ROI_i, i=1, \dots, N-1$ 和背景子区域。 $N-1$ 个不同的感兴趣区域需要采用不同的优先级进行编码,它们的优先级可表示如下:

$$H = \{P_{ROI}^1, P_{ROI}^2, P_{ROI}^3, \dots, P_{ROI}^{N-1}\} \quad (1)$$

其中, P_{ROI}^i 表示第 i 个感兴趣区域的优先级,也表示该区域在整个图像中的相对重要程度。优先级越高表示该区域生成单独码流越早出现在总的压缩码流中。背景区域的优先级最低,因而出现在码流的最后。由于不同的感兴趣区域可拥有相同的优先级,加上背景区域,一共有 M 个不同的优先级,可表示为

$$P^0 < P^1 < P^2 < \dots < P^{M-1} \quad (2)$$

其中, P^i 表示第 i 个优先级, i 越大优先级越高。采用一个灰度掩膜图像来表示不同感兴趣区域的优先级,灰度值越大,表示该区域优先级越高。相同优先级的感兴趣区域拥有相同的灰度值。

3 感兴趣区域重建质量的估计

根据 Parseval 能量保持定理,对于正交小波基,图像域的能量等于小波域的能量;对于双正交小波

基,图像域的能量近似等于小波域的能量。因此,图像域中的能量能够用其小波域的能量来估计。

采用正交小波基(或双正交小波基)可有

$$D^{O_i} \approx D^{A_i} \quad (3)$$

其中, D^{O_i} 和 D^{A_i} 分别表示第 i 个优先级的感兴趣区域的图像域和小波域的失真值。第 i 个优先级的区域 Ω_i 映射成小波区域 A_i , 有 $A_i \subseteq A$, A 是由图像平面 Ω 生成的小波系数平面。

因此,可以在编码端通过正交小波变换(或双正交小波变换)来获得重建感兴趣区域的图像质量估计,从而避免需要重建图像而引入的不必要的计算。

感兴趣区域的压缩性能采用信噪比来衡量。采用下式来估计信噪比:

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{2^P - 1}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (4)$$

其中,失真值用均方差表示

$$MSE = \frac{1}{S} \sum_{(i,j) \in ROI} (\hat{c}[i,j] - c[i,j])^2 \quad (5)$$

其中, $c[\cdot]$ 表示原图像为 P_{bpp} 的小波系数值, $\hat{c}[\cdot]$ 为重建图像的小波系数的估计值, $[i,j]$ 为小波域的坐标, S 为感兴趣区域的小波域系数个数总和。

4 多个任意形状感兴趣区域编码算法

由于不同的感兴趣区域可有不同的形状模型和优先级,优先级表示感兴趣区域在编码和解码端的处理顺序。不同的感兴趣区域也可以拥有相同的优先级,因而在表示不同感兴趣区域优先级的灰度掩膜图像中,它们的灰度值也是相同的。在编码过程中,对于每个优先级的感兴趣区域,采用一个单独的失真约束条件:

$$D^{A_i} \leq D_{i,max} \quad (6)$$

其中, $D_{i,max}$ 表示第 i 个优先级的最大容许失真值。由第 i 个优先级的目标 $PSNR$, 可以很容易地得到该优先级的 $D_{i,max}$ 。当前优先级的感兴趣区域为无损压缩时,则该优先级的 $D_{i,max}$ 取为零。

图 1 为本文提出的多个任意形状感兴趣区域编码系统框架。整个图像平面 Ω 被分成若干个由灰度掩膜图像确定的 M 个不同优先级的感兴趣区域 $\{\Omega_i\}_{i=0-M-1}$, 对每个优先级的感兴趣区域采用整数到整数形状自适应离散小波进行变换,在总的目标比特率 R 的约束条件下,按照优先级从高到低的顺序,在式(6)的失真约束条件下采用修改的 SPIHT 算法

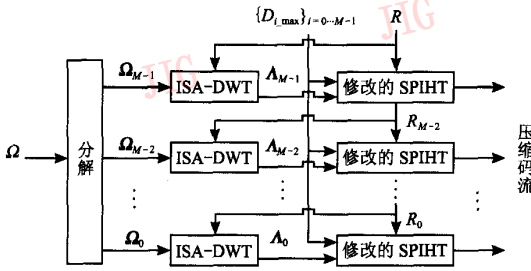


图 1 多个任意形状感兴趣区域编码系统框架

Fig. 1 Multiple arbitrary shape ROIs coding framework

对变换后的系数进行嵌入式编码产生独立的码流,并累计其压缩码流长度,直到达到目标码流长度为止。

整数到整数形状自适应离散小波变换为任意形状的静态图像提供了良好的压缩性能,其小波域中系数的个数等于图像域中任意形状的像素点个数,保持传统小波变换的空间相关性、局部特性和子带间的自相似性,并具有适合于有损和无损压缩等诸多特性。因此,本文采用它来对具有多个任意形状感兴趣区域的图像进行变换。由于经典的 SPIHT 算法的低复杂性及良好的压缩性能,本文采用修改的 SPIHT 算法来产生嵌入式码流。

5 基于提升算法的整数到整数形状自适应离散小波变换

文献[3]提出的整数到整数的形状自适应离散小波变换是在文献[5]的形状自适应离散小波变换基础上,通过引入基于提升算法的整数到整数变换而得到的。通过在预测算子和更新算子后引入非线性取整算子实现了基于提升算法的整数到整数离散小波变换。由于输入的图像采样信号是整数的,经过基于提升算法的整数到整数变换以后的值仍然是整数,整个变换不会在小数点后引入多余位数。针对计算机存在的有限数值精度,采用整数到整数变换可以有效地实现无损压缩。

在文献[3]中,对于长度 N 为奇数且大于 1 的 1 维信号,通过对前 $N - 1$ 个偶数长度信号采用 1 维整数到整数长度自适应离散小波进行变换,使得在高频和低频子带各有 $(N - 1)/2$ 个系数,剩下的一个像素值直接划分到低频子带。但是,这会使得由于子采样不会始终根据其在相位而被划分到低频或高频子带,从而导致小波域的感兴趣区域掩膜的

形状发生扭曲。

本文采用的方法根据其所在相位将子采样划分到低频和高频子带,避免了小波域感兴趣区域掩膜的形状发生扭曲。本文采用的奇镜像延拓处理的 1 维基于提升算法的整数到整数长度自适应离散小波变换算法如下:

- (1) 当信号的长度 $N = 1$ 时,如果该像素点是在偶数位置,则该像素点的系数值直接添加给低频段;否则,该像素点的系数值直接添加给高频段;
- (2) 当信号的长度 $N > 1$ 且 N 为偶数时,对信号采用基于提升算法的整数到整数的离散小波变换,分别产生 $N/2$ 个低频系数和 $N/2$ 个高频系数;
- (3) 当信号的长度 $N > 1$ 且 N 为奇数时,对信号采用基于提升算法的整数到整数的离散小波变换,如果信号的起始位置为偶数,则产生 $N/2 + 1$ 个低频系数和 $N/2$ 个高频系数;否则,产生 $N/2$ 个低频系数和 $N/2 + 1$ 个高频系数。

掩膜图像将原图像分成若干彼此独立的需编码区域。先对图像每一行中若干个独立的需编码段进行 1 维基于提升算法的整数到整数长度自适应离散小波变换,生成低频部分和高频部分,再对每一列中低频部分和高频部分的若干个独立的需编码段进行 1 维基于提升算法的整数到整数长度自适应离散小波变换,就可实现 2 维基于提升算法的整数到整数形状自适应离散小波变换。

6 修改的 SPIHT 算法

修改的 SPIHT 算法对经过整数到整数形状自适应离散小波变换以后的系数进行编码。修改的 SPIHT 算法只对掩膜图像中需要编码的区域进行编码,在编码端和解码端通过含有相同的掩膜图像来得到每个系数的位置。在 SPIHT 算法中,小波系数是一个空间方向树集,由小波域的掩膜图像可将其分为 3 类^[6]:(1) 方向树中所有的系数均在小波域需编码区域中;(2) 方向树中部分系数在小波域的需编码区域中;(3) 方向树中所有系数都在小波域的需编码区域外。

在第 1 类情况下,按照经典的 SPIHT 算法来编码方向树中的各个系数;在第 2 类情况下,对不属于需编码区域的系数不进行 SPIHT 算法中的系数显著性测试;对在方向树中所有系数都不属于需编码区域的子集不进行显著性测试。在第 3 类情况下,

在 SPIHT 算法初始化时不将树根节点放入 LIP (list of insignificant pixels) 和 LIS (list of insignificant sets)。如果来实现前景区域的无损压缩,前景区域中的所有系数都需要传送给解码端。整个码流是嵌入式的,因此可以实现有损到无损的嵌入式编码。

对于编码端,它的一个额外的任务就是获得重建的小波系数。当一个小波域的坐标被移到 LSP 中,对于小波系数比特平面 n 有 $2^n \leq |c[i, j]| < 2^{n+1}$,其中 $c[\cdot]$ 是坐标 $[i, j]$ 的小波系数值。加上符号位后可得重建的小波系数估计值为 $\hat{c}[i, j] = \pm 1.5 \times 2^n$ 。在量值更新过程中,当输入的系数为 $|c[i, j]|$ 时, $\hat{c}[i, j]$ 被增加或减小 2^{n-1} 。

7 实验结果

实验选用 $512 \times 512 \times 8\text{bits}$ 的“ Aerial” 图像(如图 2 所示)进行测试。在“ Aerial” 图中有不同优先级的感兴趣区域: $P_{ROI_1}^1 > P_{ROI_2}^2 > P_{ROI_3}^3 = P_{ROI_4}^4 > P_{BG}^5$, 其中, $P_{ROI_1}^1, P_{ROI_2}^2, P_{ROI_3}^3, P_{ROI_4}^4$ 和 P_{BG}^5 分别表示 $ROI_1, ROI_2, ROI_3, ROI_4$ 和背景区域的优先级。引入一个多感兴趣区域灰度掩模图像(如图 3 所示),灰度值越大表示优先级越高,且背景区域的掩模是黑色的。在实验中,采用整数到整数 9/7-F 小波进行 5 层分解, ROI_1 和 ROI_2 的目标信噪比都为 40dB,含有相同优先级的 ROI_3 和 ROI_4 (表示为 $ROI_3 + ROI_4$) 的目标信噪比是 38dB,总的目标比特率是 2.5bpp。

图 4 给出了各个感兴趣区域、背景和整个图像的

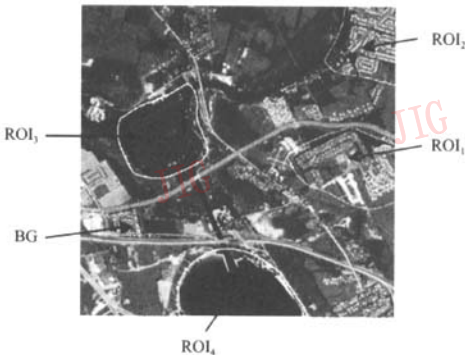


图 2 $512 \times 512 \times 8\text{bits}$ 的 Aerial 图像,内有 4 个任意形状的感兴趣区域(ROI_1, ROI_2, ROI_3 和 ROI_4),

其余的部分为背景区域(BG)

Fig.2 512-by-512 8bits Aerial image with four arbitrary shape regions-of-interest (ROI_1, ROI_2, ROI_3 and ROI_4).

The remainder of the image is termed the background (BG)

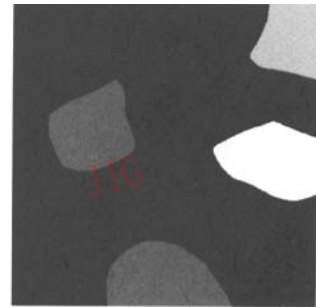


图 3 Aerial 图像的灰度掩膜

Fig.3 The gray mask of the Aerial image

比特率和估计的信噪比的关系曲线, $ROI_2, ROI_3 + ROI_4$ 和背景区域开始编码的切换比特率分别是: 0.246bpp, 0.424bpp 和 0.749bpp。从实验结果可以看出,本文提出的算法是按照优先级从高到低的顺序进行编码的,当高一优先级感兴趣区域编码完成之后进行低一优先级别区域的编码,因而有效地实现了高优先级优先编码。图 5 给出了在比特率为 0.8bpp 时的重建图像,可以看出 ROI_1, ROI_2, ROI_3 和 ROI_4 区域重建的视觉效果是不错的,而背景区域的重建效果不太好,也即实现了将码率优先分配给高优先级的区域。实验中采用基于 JPEG2000 测试平台 KAKADU 软件^[7]进行多个任意感兴趣区域编码算法与本文算法进行比较,其中 JPEG2000 采用隐式提升的感兴趣编码算法,且对高优先级的感兴趣区域采用较大的提升因子,对低优先级的感兴趣区域采用较小的提升因子。在本实验中,对 ROI_1, ROI_2 和 $ROI_3 + ROI_4$ 感兴趣区域采用的提升因子分

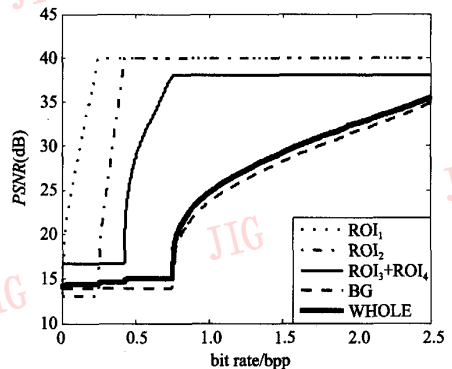


图 4 不同的优先级区域和整个图像的比特率和信噪比关系曲线

Fig.4 The multiple ROIs, BG and whole PSNR values change with the bit rate

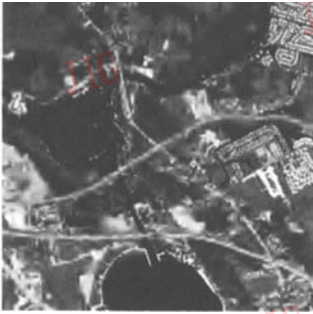


图 5 比特率为 0.8bpp 时的重建 Aerial 图像

Fig. 5 The reconstructed Aerial image at 0.8bpp

别为 6, 5 和 4。表 1 给出了在目标比特率为 2.5bpp 时 JPEG2000 与本文算法的压缩性能比较, JPEG2000 无法使感兴趣区域的重建质量达到设定的目标值, 且背景和总的图像的重建质量不如本文算法。这是由于 JPEG2000 隐式提升的感兴趣区域编码算法的提升因子是预先设定的, 无法自适应控制感兴趣区域的重建质量达到设定的目标值, 而本文算法可根据设定的感兴趣区域的目标信噪比进行自适应编码, 在满足设定的感兴趣区域重建质量的条件下, 尽可能地提高总的图像的重建质量。表 1 也给出了目标比特率为 2.5bpp 时本文算法信噪比的估计值和实际值的比较结果。ROI₁、ROI₂、ROI₃ + ROI₄、背景和整个图像的重建估计质量和实际的重建质量比较结果表明, 估计值与实际值的最大差值为 ROI₁ 的 0.7dB, 最小差值为 ROI₃ + ROI₄

表 1 本文算法与 JPEG2000 在 2.5bpp 时信噪比的比较

Tab. 1 PSNR Comparison at 2.5bpp

单位: dB

区域	本文算法		JPEG2000
	估计值	实际值	
ROI ₁	40.0	39.30	44.40
ROI ₂	40.0	39.74	44.14
ROI ₃ + ROI ₄	38.0	37.87	43.50
背景	28.20	27.94	24.94
整个图像	29.26	29.0	26.13

的 0.13dB, 因而重建质量估计的效果是较好的。由于 9/7-F 小波不完全满足 Parseval 定理, 且整数到整数形状自适应离散小波变换的量化算子引入了量化误差, 因此, 信噪比的估计值不完全等于实际值。可见, 采用本文提出的感兴趣区域重建质量估计算法是很有有效的。

8 结 论

本文提出了一种基于整数到整数形状自适应离散小波变换的多个任意形状感兴趣区域有损和无损编码框架。通过引入一个灰度值图像掩模来表示拥有不同优先级的感兴趣区域, 在该图像掩模中, 越高的灰度值表示越高的优先级。实验结果表明, 本编码框架可以有效地根据感兴趣区域的优先级顺序优先保证高优先级任意形状感兴趣区域的目标重建质量, 且感兴趣区域重建质量的估计方法简单有效。

参考文献 (References)

- 1 Cuhadar A, Tasdoken S. Multiple, arbitrary shape ROI coding with zerotree based wavelet coders [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2003) [C], Hong Kong, 2003; 257 ~ 260.
- 2 Tasdoken S. Multiple-region Multiple-quality coding schemes for medical image compression [D]. Ottawa: University of Carleton, 2002.
- 3 Ahmed Abu-Hajar, Ravi Sankar. Integer-to-integer shape adaptive wavelet transform for region of interest image coding [A]. In: Proceedings of 10th Digital Signal Processing Workshop [C], Georgia, USA, 2002; 94 ~ 97.
- 4 Said A, Pearlman W. 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.
- 5 Li Shi-peng, Li Wei-ping. Shape-adaptive discrete wavelet transforms for arbitrarily shaped visual object coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(5): 725 ~ 743.
- 6 Liu Zhong-min, Xiong Zi-xiang, Wu Qiang, et al. Cascaded differential and wavelet compression of chromosome images [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2002, 49(4): 372 ~ 383.
- 7 Taubman D, Marcellin M W. JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Practice and Standards [M]. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2002.