

基于多级位平面交错的 ROI 图像编码

李建欣 朱日宏 丁绪星

(南京理工大学电光学院, 南京 210094)

摘要 在许多的图像应用中,基于感兴趣区域(ROI)图像编码技术占有重要地位。在 ROI 图像编码中,感兴趣区域采用低压缩比以得到较高的图像质量,而背景区域(ROB)则采用高压缩比以达到相对低一点的图像质量。因此,这种技术能很好地解决图像质量和压缩比之间的矛盾。在 JPEG2000 中已采用了 General Scaling Based Method 和 Maxshift Method 的 ROI 编码技术,但在一些应用中它们仍不能满足要求。为此提出了一种基于多级位平面交错(MBI)的编码算法。该算法具有多 ROI 编码、ROI-ROB 重要性编码等特点,能够满足不同应用场合下的编码要求。

关键词 图像编码 感兴趣区域(ROI) 多级位平面交错(MBI) 位平面编码

中图分类号: TN919.81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)02-0201-06

Region of Interest Coding Based on Multi-Bitplane Interleaving

LI Jian-xin, ZHU Ri-hong, DING Xu-xing

(School of Electronic Engineering and Photoelectric Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094)

Abstract In many image applications, the coding technology based on Region of Interest(ROI) is very important. With ROI coding technology, the interesting region in image obtains better quality than the region of the background(ROB) at a low compression rate, and the ROB obtains a low level quality at a high compression rate. So the technology solves the conflict between the image quality and the compression rate. General scaling based method and maxshift method are used as the ROI coding technologies in JPEG2000, but there are still limitations in some applications. In this paper, a Multi-Bitplane Interleaving (MBI) method is introduced. The method arranges the bitplane effectively by using ROI parameter and bitplane parameter. The method allows for arbitrarily shaped ROI coding without transmitting any shape information explicitly to the decoder. And it allows for more flexibility to control the image quality of ROI and ROB. ROI coding is also allowed for. Because of the characters such as ROI coding, significant coding of ROI and ROB, the MBI method can greatly meet the coding requirement in different applications.

Keywords image coding, region of interest(ROI), multi-bitplane interleaving(MBI), bitplane coding

1 引言

基于感兴趣区域的图像编码技术在网络传输、无线通讯和医疗等领域发挥着越来越大的作用。目前,感兴趣区域图像编码有许多算法,如 general scaling based method、maxshift method^[1~3]、Bbshift method^[4]等。general scaling based method 主要的特点是按比例放大或上移感兴趣区域掩模的系数,使它们的位平面高于背景区域的位平

面。在编码时,按照最重要位平面优先编码的原则先对位平面高的 ROI(感兴趣区域)系数编码,以产生嵌入码流。在解码过程中,感兴趣区域具有较高的图像质量。但对于任意形状的兴趣区域,此算法仍需要形状编解器,这会增加编解器的复杂度,还会增加比特率,而 maxshift method 能很好地解决上述的问题。在编码过程中,它不需要发送形状信息,解码器既不需要形状信息,也不需要计算感兴趣区域掩模,它主要是通过确定一个放大比例值,使得感兴趣区域的所有位平面高于背景位平面。该算法的不足之处是没

有突出 ROI 和 ROB(背景区域)的相对重要程度。BbShift method 对位平面的组织方式进行了扩展,但在位平面嵌入编码时只有单一的模式。本文针对以上算法的不足,引入了 ROI 因子和 Q_r 位平面因子 Q_b 两个参数,以更有效地控制感兴趣区域和背景区域的图像质量。

2 算法原理

2.1 ROI 掩模

在感兴趣区域编码中,需要确定各个小波子带中用来重构感兴趣区域的小波系数,这可以通过 ROI 掩模来表示属于感兴趣区域的小波系数^[5]。ROI 掩模只与感兴趣区域的形状、小波合成滤波器的长度和小波分解的级数有关。在小波分解中,原信号记为 $X(2n)$ 和 $X(2n+1)$,分解后的低频子带和高频子带的采样值记为 $L(n)$ 和 $H(n)$ 。对于整数(5, 3)小波滤波器,有

$$X(2n) = L(n) - \frac{H(n-1) + H(n)}{4} \quad (1)$$

$$X(2n+1) = \frac{L(n) + L(n+1)}{2} + \frac{-H(n-1) + 6H(n) - H(n+1)}{8} \quad (2)$$

因此,需要重构 $X(2n)$ 的系数为 $L(n), H(n-1)$ 和 $H(n)$;而重构 $X(2n+1)$ 的系数为 $L(n), L(n+1), H(n-1), H(n)$ 和 $H(n+1)$ 。

对于(9, 7)小波滤波器,重构 $X(2n)$ 的系数为 $L(n-1), L(n), L(n+1), H(n-2), H(n-1), H(n)$ 和 $H(n+1)$;重构 $X(2n+1)$ 的系数为 $L(n-1), L(n), L(n+1), L(n+2), H(n-2), H(n-1), H(n), H(n+1)$ 和 $H(n+2)$ 。32×32 的图像用(9, 7)小波滤波器分解一级后的 ROI 掩模如图 1 所示。

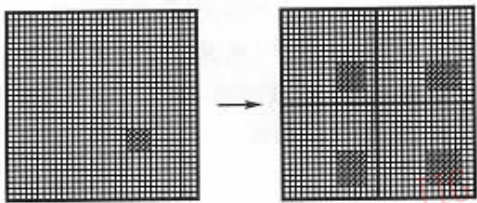


图 1 感兴趣区域为 4×4 的 ROI 掩模

2.2 多级位平面交错的 ROI 编码算法

小波系数经量化后,组织成位平面^[5,6],如图 2 所示。编码时,从最高有效位平面开始扫描。如果感兴趣区域的位平面比背景区域的位平面高,则先进

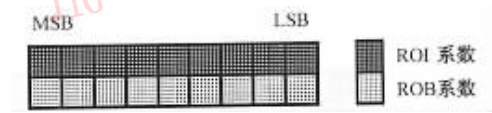
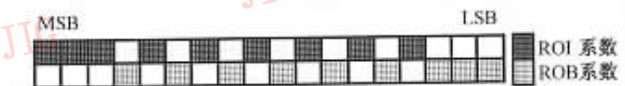


图 2 量化后的系数位平面

行感兴趣区域的位平面编码;如果压缩码流被截取,则丢失处于较低位平面的背景区域信息,解码后的图像感兴趣区域仍能保持较好的图像质量。JPEG2000 采用了 scaling based method 和 maxshift method 两种感兴趣区域编码算法。对于任意形状的感兴趣区域,用 scaling based method 编码时需要在码流中加入感兴趣区域的形状信息和缩放值信息。这种方法适应于对简单形状的感兴趣区域进行编码。maxshift method 能进行任意形状的感兴趣区域编码,而不需要往编码流中加入感兴趣区域的形状信息,但这种方法不能任意地指定感兴趣区域和背景区域的图像质量。为了能够做到对任意形状的感兴趣区域进行编码,而且能够柔性地控制感兴趣区域和背景区域的图像质量,提出一种基于多级位平面交错(MBI)的编码算法。该算法引入了两个重要参数:ROI 因子 Q_r 和位平面因子 Q_b 来有效地组织位平面。其中, Q_r 为 ROI 和 ROB 的最高位平面的相对高度,描述两者之间的相对重要程度; Q_b 为交错的 ROI 位平面和 ROB 位平面的相对级数,描述两者的嵌入特性。如图 3 所示, $Q_r=3$ 表示 ROI 的最高位平面比 ROB 的最高位平面高出 3 个位平面; $Q_b=1$ 表示 ROI 位平面和 ROB 位平面之间以 1:1 的平面数进行交错; $Q_b=2$ 表示 ROI 位平面和 ROB 位平面之间以 2:1 的平面数进行交错。通过选择参数 Q_r 和 Q_b ,可以有效地协调感兴趣区域和背景区域的图像质量。同时,由于 MBI 算法定义了 ROI 位平面和 ROB 位平面是互相交错的,因而在对任意形状的感兴趣区域进行编码时,不需要往编码流中加入感兴趣区域的形状信息。

MBI 算法通过对 ROI 和 ROB 位平面进行移



(a) $Q_r=3, Q_b=1$



(b) $Q_r=3, Q_b=2$

图 3 ROI 和 ROB 位平面的多级交错

动,来实现参数所定义的位平面嵌入形式。其具体算法如下:

- (1) 确定感兴趣区域,生成 ROI 掩模。
- (2) 确定 ROI 系数的最大位平面幅度

$$N = \max(M_b) \quad (3)$$

其中, M_b 为小波分解后的每个子带中的 ROI 系数位平面幅度的最大值。

- (3) 位平面组织:

如果 $Q_r = 0$, 不进行 ROI 编码。如果 $Q_r \neq 0$, $Q_b = 0$, 则对 ROI 的每个位平面 b 不移动; 对 ROB 的每个位平面 b 向下移到 $b+N$ 。

如果 $Q_r \neq 0, Q_b \neq 0$, 令

$$G(x) = \lceil (x - Q_r) / Q_b \rceil \quad (5)$$

$$H(x) = \lfloor (x - Q_r) / Q_b \rfloor \quad (6)$$

$$M(x) = \text{mod}(x - Q_r, Q_b) \quad (7)$$

其中, $\lceil x \rceil$ 表示对 x 向上取整; $\lfloor x \rfloor$ 表示对 x 向下取整; $\text{mod}(x, y)$ 表示 x 对 y 求余。

则对于 ROI 的每个位平面 b ,

$$\begin{cases} \text{位平面不移动} & b \leq Q_r \\ \text{位平面向下移到 } b+G(b) & b > Q_r \end{cases} \quad (8)$$

对 ROB 的每个位平面 b ,

如果 $b \leq G(N)$, 位平面向下移到

$$Q_r + b + (b - 1) \times Q_b \quad (9)$$

如果 $b > G(N)$, 位平面向下移到

$$Q_r + b + H(N) \times Q_b + M(N) \quad (10)$$

经过位平面多级交错组织后, ROI 的位平面为

$$B_{\text{ROI}} = \{b \mid b \leq N\} (Q_r \neq 0, Q_b = 0) \quad (11)$$

或

$$B_{\text{ROI}} = \{b \mid b \leq Q_r \text{ or } b = Q_r + k + G(Q_r + k) k = 1, 2, \dots, N - Q_r\} (Q_r \neq 0, Q_b \neq 0) \quad (12)$$

解码时,若小波系数的位平面 $b \in B_{\text{ROI}}$, 则小波系数为 ROI 系数, 否则它是 ROB 系数。解码器输出的系数的位平面同样可以通过上述过程, 重新移回原来的位置。

2.3 多感兴趣区域的 ROI 编码算法

在进行感兴趣区域编码时, 如果设置多个感兴趣区域, 则这些感兴趣区域应该比背景区域具有更好的图像质量。另外, 感兴趣区域之间也可以具有不同的图像质量。MBI 算法可以通过 (Q_{r_i}, Q_b) 参数来实现这两种不同的图像质量差别。 Q_{r_i} 越大, 表示该感兴趣区域越重要, 其重建图像质量越高, 例如, $Q_{r_1} = 5, Q_{r_2} = 3, Q_b = 1$, 表示感兴趣区域 1 的最高位平

面比感兴趣区域 2 的最高位平面高出 $2(Q_{r_1} - Q_{r_2} = 2)$ 个位平面。编码时, 先对位平面较高的 ROI-1 进行编码。ROI-1 的两个最高位平面已经完成编码, 再对处于相同高度的 ROI-1 和 ROI-2 的位平面进行编码。ROI 和 ROB 位平面的交错形式如图 4 所示。

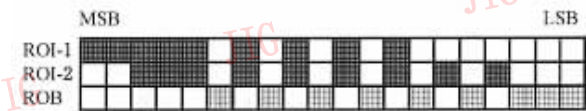
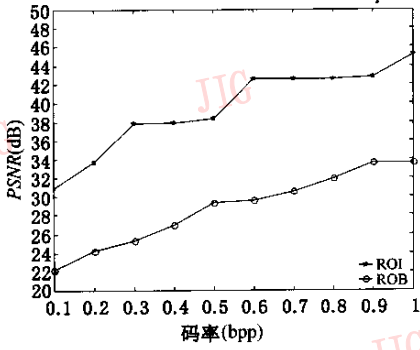


图 4 多 ROI 编码 ($Q_{r_1} = 5, Q_{r_2} = 3, Q_b = 1$)

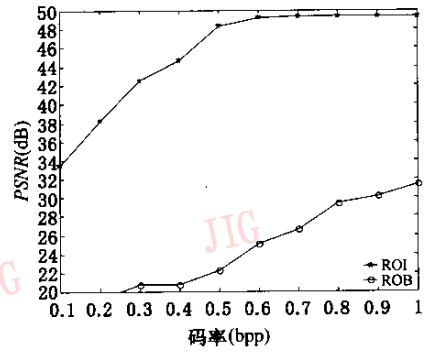
3 算法的测试结果及分析

MBI 算法可以容易地嵌入到基于小波变换的图像位平面编码器中。到目前为止, 位平面编码器有很多种, 例如 EZBC^[7]、EBCOT 等。对于不同的位平面编码器, MBI 算法的效果有所不同, 它跟位平面编码器的编码方式有关。本文把 MBI 算法和经过修改的 EZBC 算法结合起来进行测试。测试的图像为 Barbara 图像 (512×512)。在 MBI 算法中, 如果 $Q_b = 1$, 则编码的效果和 BbBshift method 相同, 如图 5(a) 所示, 这是因为 BbBshift method 只对 ROI 位平面和 ROB 位平面以 1:1 的平面数进行交错。MBI 算法对 BbBshift method 进行了扩展, 通过参数 Q_b 能够控制 ROI 位平面和 ROB 位平面的交错形式, 因此, MBI 算法比 BbBshift method 具有更大的灵活性。图 5(b) 给出了 $Q_r = 3, Q_b = 2$ 时 MBI 算法的编码结果。除了这个特点, MBI 算法还可以处理多 ROI 的情况, 而且能够通过参数 Q_{r_i} 设置 ROI 之间的重要级别。如图 6 所示, Q_{r_i} 的值越大, 表示该 ROI 越重要。在低码率时, Q_{r_i} 值大的 ROI 始终有较高的图像质量。而 BbBshift method 处理多 ROI 时, 不能指定 ROI 之间的相对重要程度, 因此所有的 ROI 具有相同的位平面嵌入特性。参数 Q_r 和 Q_b 使得 MBI 算法有效地克服了 scaling based method、maxshift method 和 BbBshift method 的不足。

图 7 为 Barbara 图像在码率为 0.05bpp 时的 MBI 算法解码结果, ROI 位于 Barbara 的头部, 大小为 160×160 , 不同 (Q_r, Q_b) 参数下的区域图像质量如表 1 所示。图 8 为 Barbara 图像在码率为 0.5bpp 时的多 ROI 解码结果, ROI-1 位于 Barbara 的头部, 大小为 160×160 , ROI-2 位于 Barbara 的右脚膝部, 大小为 128×128 , 不同 (Q_{r_i}, Q_b) 参数下的区

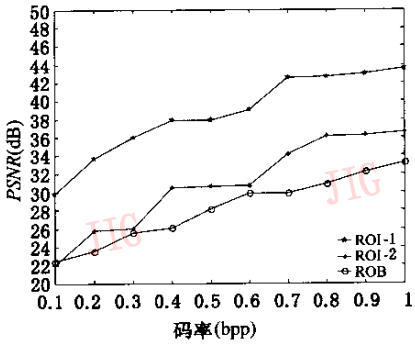


(a) $Q_r=3, Q_b=1$

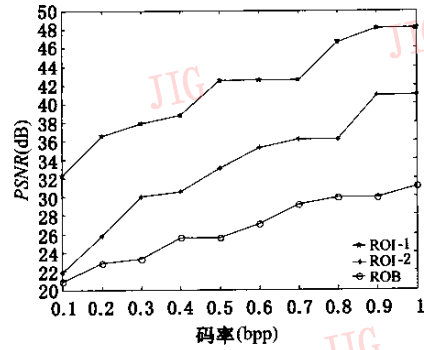


(b) $Q_r=3, Q_b=2$

图 5 MBI 算法的编码结果



(a) $Q_{r1}=3, Q_{r2}=2, Q_b=1$



(b) $Q_{r1}=4, Q_{r2}=2, Q_b=1$

图 6 多 ROI 的编码结果



(a) $Q_r=3, Q_b=1$



(b) $Q_r=3, Q_b=2$



(c) $Q_r=5, Q_b=1$

图 7 MBI 算法解码图像(Barbara 图像码率为 0.05bpp)



(a) $Q_{r1}=3, Q_{r2}=6, Q_b=1$



(b) $Q_{r1}=8, Q_{r2}=6, Q_b=2$



(c) $Q_{r1}=8, Q_{r2}=7, Q_b=1$

图 8 多 ROI 解码图像(Barbara 图像码率为 0.5bpp)

表 1 图像质量 (PSNR)

单位: dB

图像	图 7		图 8		
	ROI	ROB	ROI-1	ROI-2	ROB
(a)	28.89	21.25	44.84	30.53	20.81
(b)	29.81	18.33	45.88	31.83	18.37
(c)	29.90	19.84	41.57	32.36	19.82

域图像质量如表 1 所示。在图 7 中, (a) 和 (b) 的 Q_r 相等, 而 (a) 的 Q_b 比 (b) 小; (a) 和 (c) 的 Q_b 相等, 而 (a) 的 Q_r 比 (c) 的小。从表 1 中可知, (b) 和 (c) 的 ROI 图像质量比 (a) 的高, 而 ROB 图像质量比 (a) 的低。对于相同的 Q_b , Q_r 越大, 感兴趣区域的图像质量越高, 背景区域的图像质量越低; 对于相同的 Q_r , Q_b 越大, 感兴趣区域的图像质量越高, 背景区域的图像质量越低。在应用中, 根据实际要求来选取 (Q_r , Q_b) 参数。一般情况下, 如果只要求突出感兴趣区域, 而不强调背景区域, 则可以选取大的 Q_r 或 Q_b 。如果要求突出感兴趣区域, 又强调背景区域, 则可以在适当的 Q_r 下选取小的 Q_b 。

对于指定感兴趣区域的无损编码, maxshift method 比没有指定感兴趣区域的无损编码增加 1~8% 的码率^[8,9]。本文算法作为 maxshift method、BbShift method 的扩展, 并没有增加太多的复杂度, 但对于不同大小的感兴趣区域和 (Q_r , Q_b) 参数, 其编码率会受到一定的影响。对于相同大小的感兴趣区域, 当 Q_b 小于 4 时, 该算法比 BbShift method 增加 0~5% 的码率。 Q_b 越大, 码率增加越多。能实现任意感兴趣区域形状的 ROI 编码器, 都会在不同的程度上增加了编码率, MBI 算法同样也存在这样的问题。但比起一般的感兴趣区域编码算法, MBI 算法能够对 ROI 和 ROB 位平面的嵌入形式提供柔性的控制, 能够更好地满足 ROI 和 ROB 的图像质量要求。

4 结 论

基于感兴趣区域的图像编码技术已经在许多的图像应用中发挥了很大的作用。在静止图像压缩标准 JPEG2000 中, 采用 scaling based method 和 maxshift method, 但这两种方法都存在不足的地方。针对这样的问题, 本文提出一种基于多级位平面交错 (MBI) 的 ROI 图像编码算法。该算法通过引入 2 个参数 Q_r 和 Q_b , 使得 ROI 和 ROB 的位平面具有更大选择性的嵌入特性。该算法具有以下特点: (1)

能够实现任意形状的感兴趣区域编码, 而不需要往编码流中加入感兴趣区域的形状信息; (2) 能够实现 ROI-ROB 重要性编码, 即柔性地控制感兴趣区域和背景区域的图像质量; (3) 能够实现多 ROI 编码, 并且能够指定 ROI 之间的相对重要程度, 使不同重要程度的 ROI 具有不同的重建图像质量。该算法是一种有效的 ROI 图像编码算法, 可以容易地嵌入到基于小波变换的图像位平面编解码中, 因此, 在军事图像、医学诊断图像、网络传输及无线通讯等领域该算法有参考和实用意义。

参 考 文 献

- 1 Christopoulos C, Askelöf J, Larsson M. Efficient methods for encoding regions of interest in the upcoming JPEG2000 still image coding standard [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2000, 7(9): 247~249.
- 2 Christopoulos C, Skodras A. The JPEG2000 still image coding system: an overview [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2000, 46(4): 1103~1127.
- 3 Nister D, Christopoulos C. Lossless region of interest with a naturally processing still image coding algorithm [A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP-1998) [C], Chicago, 1998: 856~860.
- 4 Zhou Wang, Dovik Alan C. Bitplane-by-bitplane shift (BbShift) — A suggestion for JPEG2000 region of interest image coding [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(5): 160~162.
- 5 ISO/IEC JEC1/SC29/WG1 N1646R-2000, JPEG2000 image coding system[S]. March 2000.
- 6 David Taubman. High performance scalable image compression with EBCOT [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(7): 1158~1170.
- 7 Hsiang S-T, Woods J W. Embedded image coding using zeroblocks of subband/wavelet coefficient and context modeling [A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Circuits and Systems (ISCAS-2000) [C], Geneva, Switzerland, 2000: 662~665.
- 8 Raphaël Grosbois, Diego Santn-Cruz, Touradj Ebrahimi. New approach to JPEG2000 compliant region of interest coding [A]. In: Proceedings of the SPIE 46th Annual Meeting, Applications of Digital Image Processing XXIV [C], San Diego, 2001: 1~10.
- 9 Christopoulos C, Askelöf J, Larsson M. Efficient methods for encoding region of interest in the upcoming JPEG2000 still image coding standard [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2000, 7(9): 247~249.



李建欣 1977年生,现为南京理工大学光学工程专业博士研究生。主要研究方向为图像编码与传输、视频信号处理。



丁绪星 1971年生,现为南京理工大学通信与信息系统专业博士研究生。主要研究方向为图像编码与传输和光纤通信技术。



朱日宏 1964年生,教授,博士生导师,现任南京理工大学电光学院副院长。长期从事光学图像处理、光电检测技术、光通信技术等领域的研究。

新书推荐

《植物生长建模及其应用》

本书收集了“2003年植物生长建模、仿真、可视化及其应用”国际专题会议的全部论文40篇,其中包括特邀报告论文4篇。这些论文反映了植物生长建模及其相关应用的最新理论与应用研究进展。论文按主题分为:A. 植物生长建模中的功能与结构模型(共10篇);B. 植物生长仿真与可视化(共10篇);C. 植物模型及可视化在农林学及土地利用中的应用(共20篇)。

植物生长建模研究充分反映了多学科领域知识的交叉融合。涉及的领域包括植物学、农林学、生态学、计算机科学以及应用数学等。因此,本书适合于从事这些领域方向研究的研究人员、大学教师、以及研究生阅读参考。

本书已由清华大学出版社与Springer出版社于2003年10月联合出版(ISBN 7-302-07140/Q·33,编著:胡包钢, Marc Jaeger)。书籍为精装,全彩页印刷,共435页,可以通过各大城市新华书店或网页(<http://liama.ia.cn.cn/book/bookindex.htm>)购买。