

一种基于隐式 ROI 的自适应图像编码算法

孙 超, 王建峰, 姜守达

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 黑龙江哈尔滨 150001)

摘 要: 针对 JPEG2000 中隐式 ROI (Region of Interest) 编码算法在低码率下重建图像感兴趣区质量较差的问题, 提出了一种改进方法. 利用拉格朗日插值法构造权重自适应函数, 根据 ROI 码块中 ROI 小波系数个数所占比例及设定的目标码率, 合理地分配 ROI 码块权重, 在保证更多 ROI 信息被优先编码的同时, 降低背景小波系数的影响, 从而提高了 ROI 小波系数在码流中的数据长度. 实验结果表明, 采用该算法, 重建后感兴趣区图像质量较隐式 ROI 算法有明显提高.

关键词: 感兴趣区图像编码; 隐式 ROI; JPEG2000

中图分类号: TP301 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2008) 12A-171-04

An Adapting Image Coding Method Based on Implicit ROI

SUN Chao, WANG Jian-feng, JIANG Shou-da

(Automatic Test and Control Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract: According to the poor quality problem in the region of interest in the reconstructed image which is generated by the implicit ROI (Region of Interest) algorithms in the low bit rate coding in JPEG2000, an improved method is proposed. The proposed method makes use of the Lagrange interpolation to construct the weight adaptive function, gives a reasonable weight for the ROI code block according to the proportion of the number of ROI wavelet coefficients and the target code rate. While ensuring that more ROI information is encoded with higher priority, the background wavelet effects are reduced. Therefore the data length of the ROI wavelet coefficients in the data stream is enhanced. The experimental results show that the reconstructed ROI image quality of the proposed algorithm is much better than the implicit ROI algorithm.

Key words: region of interest image coding; Implicit ROI; JPEG2000

1 引言

图像的感兴趣区域 (ROI) 是指观察者比较感兴趣并且对其投入更多注意力的部分^[1]. ROI 通常比图像其他部分 (即背景区域) 有更高的重建质量. ROI 编码方法在遥感图像处理、无线通信、医学影像分析等方面有着广泛应用^[2, 3].

静止图像压缩标准 JPEG2000 中提出了两种感兴趣区编码方法: 最大位平面移动法 (Maxshift) 和隐式 ROI 法. Maxshift 算法根据图像感兴趣区产生 ROI 掩膜, 移动 ROI 掩膜内的小波系数的位面 (bit plane), 使其完全高于背景区域的位面, 保证 ROI 信息被优先编码、优先传输, 从而提高 ROI 的重建质量. 它的优点是实现简单、能够对任意形状的 ROI 编码, 在编码后的码流中不需要附加 ROI 的形状信息, 但是 Maxshift 算法需要增加一定的位面数量, 而且在低码率情况下背景数据位可能会全部被丢弃, 因此, 该方法具有一定的局限性. 隐式 ROI 算法

根据 ROI 掩膜将码块分为 ROI 码块和背景码块, 通过增加 ROI 码块的权重, 使得编码码流中包含更多的 ROI 信息, 从而提高重建图像 ROI 质量. 其优点在于不改变位面的数量, 能够兼顾背景区图像质量, 也不需要附加 ROI 形状信息. 但是, 由于编码是以码块为单位, 某些 ROI 码块可能包含大量背景信息而只有少数 ROI 信息, 影响了编码效率, 尤其在低码率下, ROI 重建质量得不到保证^[4].

隐式 ROI 算法的研究也成为当前研究的热点. 文献 [5] 提出了一种改进的隐式 ROI 算法 (Weighted Implicit ROI), 根据 ROI 码块中 ROI 区域小波系数所占比例, 采用线性函数调整该码块的优先级, 提高了 ROI 区域的图像重建质量. 但是, 由于线性函数无法有效降低背景区系数的影响, 且算法没有考虑到码率对码块优先级的影响, 因此无法得到最优的 ROI 质量. 文献 [6] 提出了一种基于率失真优化的感兴趣区域编码算法, 将隐式 ROI 算法和 Maxshift 算法相结合, 虽然保证了重建图像的 ROI

质量,但是并没有从根本上消除 Maxshift 算法的弊端.文献[7]提出了一种通过将低位的背景区域小波系数置零的方法,减小这些系数对编码的影响,但是在低码率下,高位的背景区域小波系数对 ROI 重建质量影响仍比较大.

本文提出了一种自适应的感兴趣区域图像编码算法 AW-ROI(Adapting Weighted Implicit ROI),对 Weighted Implicit ROI 算法做出改进,将 ROI 码块进一步分为完全 ROI 块和部分 ROI 块,通过拉格朗日插值法建立权重自适应函数,一方面引入幂函数来代替 Weighted Implicit ROI 中的线性函数,实现对权重的动态调整,另一方面引入目标码率参数,对码块进行更合理的加权,减小部分 ROI 块中背景区域小波系数对编码的影响,实现在不同码率下对重建图像 ROI 质量的最优调整.

2 隐式 ROI 编码算法

优化截断嵌入式编码(EBCOT)是 JPEG2000 的核心算法[8],隐式 ROI(Implicit ROI)算法是以 EBCOT 为基础的.EBCOT 算法把表示图像的子带分成相对较小的码块,对于每个码块,再按质量分层的原则,分成若干“块段”,各“块段”之间是截断点.用 B_i 表示一个码块,对 B_i 独立编码产生一个基本的嵌入码流 c_i , c_i 包含 $Z_i + 1$ 个截断点,从 c_i 的起点到各个截断点的码长表示为 $L_i^{(z)}$,代表了对 B_i 的不同质量分级表示.用 $L_i^{(z)}$ 码长编码 B_i 所产生的失真度量为 $D_i^{(z)}$,对于给定的总码率 L_{MAX} ,在各个码块中选择一个截断点 z_i ,满足

$$\sum_i L_i^{(z_i)} \leq L_{MAX} \quad (1)$$

且使得

$$D = \sum_i D_i^{(z_i)} \quad (2)$$

最小.

这是一个确定码率的最优化问题,可以用拉格朗日乘数法求解目标关系式为:

$$J(\lambda) = \sum_i \left(D_i^{(z_i)} + \lambda L_i^{(z_i)} \right) \quad (3)$$

很明显,该问题可以归结为单个码块的最小化问题,即对于码块 B_i 找到截断点 z_i ,使得 $(D_i^{(z_i)} + \lambda L_i^{(z_i)})$ 最小,文献[9]提供了一个简单的离散搜索算法.

隐式 ROI 算法是在码率固定的情况下,通过提高 ROI 块 B_i 的编码过程中的失真度量 $D_i^{(z)}$,来分配更多的数据表达 ROI 码块.失真度量的表达式如下:

$$D_i^{(z_i)} = \begin{cases} W_{ROI} w_b \sum_{u,v \in B_i} (\hat{a}^{(z_i)}(u,v) - a(u,v))^2 & \text{ROI 码块} \\ w_b \sum_{u,v \in B_i} (\hat{a}^{(z_i)}(u,v) - a(u,v))^2 & \text{非 ROI 码块} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $a(u,v)$ 表示小波系数; $\hat{a}^{(z_i)}(u,v)$ 表示与截断点 z_i 有关的量化后系数; W_{ROI} 为权重系数; w_b 为与小波能量有关的加权系数.

上述公式使 ROI 码块有大于背景区域的率失真斜率,ROI 码块对嵌入式码流的贡献要比背景区域大,恢复重建后图像的质量要高于背景区域.率失真斜率的定义为:

$$S_i^{(z_i)} = \frac{\Delta D_i^{(z_i)}}{\Delta L_i^{(z_i)}} = \frac{D_i^{(z_{i+1})} - D_i^{(z_i)}}{L_i^{(z_{i+1})} - L_i^{(z_i)}} \quad (5)$$

3 自适应感兴趣区编码算法

由于 EBCOT 算法是以码块为单位进行编码的,在有些 ROI 码块中可能只包含很少的 ROI 系数,大部分为背景系数,但是整个码块内的系数都被赋予了相同的权重.因此,在低码率下,这些背景系数会对编码产生较大影响,明显降低 ROI 重建质量. Weighted Implicit ROI 算法[5],对于 ROI 码块,按照下式计算失真:

$$D_i^{(z_i)} = D_i^{(z_i)} \cdot RWF_i \quad (6)$$

其中, RWF_i (Region (of Interest) Weighting Factor) 称为 ROI 权重因子,即为该码块中 ROI 系数的个数所占比例,

$RWF_i = \frac{m_{ROI}}{l \times l}$, m_{ROI} 为块中 ROI 系数的个数, l 为码块尺寸大小.

由于该算法引入了 ROI 权重因子 RWF_i ,可以根据码块中含有 ROI 系数个数的多少来确定该码块权重.该算法实际上是对 ROI 码块的权重进行了线性调节,能够在一定程度上消除背景系数的影响.但在低码率的条件下,该算法消除背景系数影响的程度有限,且没有考虑到码率对编码的影响.本文提出的 AW-ROI 算法,通过建立码率自适应函数,采用幂函数的形式自动调整码块权重,从而保证了更多的 ROI 信息被优先编码,提高了 ROI 重建质量.

3.1 码块划分

AW-ROI 算法,首先要对码块进行划分,划分方法为:根据给定的感兴趣区,在小波域中确定 ROI 掩膜,然后将码块分为背景块,完全 ROI 块和部分 ROI 块,如图 1 所示.若一个码块中不含有 ROI 小波系数,则该码

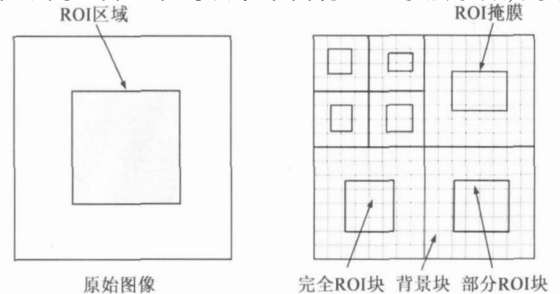


图1 ROI掩膜和码块分类

块为背景块;若该码块中全部系数均为 ROI 小波系数,则该码块为完全 ROI 块;若码块中既含有 ROI 小波系数又含有背景区域小波系数,该码块称为部分 ROI 块。

3.2 码块权重的确定

在编码过程中,根据式(4),码块失真可表示为:

$$D_i^{(z)} = W_{Block} \sum_{u,v \in B_i} (\hat{a}^{(z)}(u,v) - a(u,v))^2 \quad (7)$$

Weighted Implicit ROI 算法通过调节 ROI 码块的权重,达到了消除背景系数影响的目的,但消除背景系数影响的程度有限,尤其在低码率下,背景系数对重建图像 ROI 质量的影响仍比较大.因此可以通过进一步降低部分 ROI 块的权重,以更好地消除背景系数的影响.同时,考虑到低码率下,ROI 权重因子 RWF_i 越大,相应 ROI 码块包含 ROI 信息越多,其权重降低的程度不易过大;反之,对于 RWF_i 较小的 ROI 码块,应尽量减小其权重,以更好地消除背景系数的影响.在部分 ROI 块中,权重因子 RWF_i 为小于 1 的实数,定义关于权重因子的幂函数,能够很好地满足上述要求,从而进一步提高重建图像 ROI 的质量.因此,式(7)中码块的权重系数 W_{Block} 定义为下式:

$$W_{Block} = \begin{cases} W_{ROI}, & \text{完全 ROI 块} \\ W_{ROI} \cdot RWF_i^m, & \text{部分 ROI 块} \\ 1, & \text{背景块} \end{cases} \quad (8)$$

其中, m 为大于 1 的实数。

3.3 权重自适应函数

相对于 Weight Implicit ROI 算法,对 m 进行适当的取值,能够更好地消除 ROI 码块背景系数的影响,提高重建图像 ROI 的质量,但对于不同的 m ,重建图像 ROI 质量提高的程度是不同的,而不同码率下,获得最优的重建图像 ROI 质量的 m 也并不相同.因此,引入目标码率 r 对指数 m 进行调节,以获得更优化结果.进一步定义关于码率 r 的函数 $m = f(r)$,称为权重自适应函数.由于 m 与 r 的函数关系不易确定,为确定函数 $f(r)$,采用了基于拉格朗日插值的优化方法.通过实验,在指定码率下,选取不同的指数 m ,通过对比恢复重建后 ROI 区域的图像质量,选取当前码率下指数 m 的最佳取值 $m = m_r$.然后,通过大量实验,确定不同码率 r_j ($j = 1, 2, \dots, 10$) 下 m 的最佳取值 m_r ,利用插值法确定函数 $f(r)$.

实验采用 512×512 , 8bpp (bit/pixel) 的 lena 图像作为原始图像,感兴趣区为图像中心 $1/4$ 面积,码块大小为 16×16 ,采用 W9X7 小波进行 5 级 DWT 变换,取 $W_{ROI} = 4096^{[9]}$. 图像质量采用“峰值信噪比”(PSNR)来评价,其定义如下:

$$PSNR = 10 \lg \frac{255 \times 255 \times h \times l}{MSE} \quad (9)$$

其中, h, l 分别为图像的长度和宽度, MSE 为图像与原

始图像各个像素差值的平方和。

表 1 为在不同码率和 ROI 区域下, m 的最佳取值以及恢复重建后图像 ROI 区域的 PSNR。

表 1 m 的最佳取值以及 PSNR

j	r_j	PSNR	m_r
1	0.05	27.3182	1.5
2	0.08	30.7858	2.1
3	0.1	32.4294	2.4
4	0.2	38.1970	2.3
5	0.3	41.7741	2.2
6	0.4	44.4791	2.2
7	0.5	46.8933	2.3
8	0.7	50.2603	2.1
9	1	53.5287	2.8
10	1.5	53.9328	1.4

根据表 1 中实验数据,将 (r_j, m_r) , 作为插值节点,采用拉格朗日插值法,得到:

$$f(r) = \sum_{j=1}^{10} \left[\prod_{k=1, k \neq j}^{10} \frac{r - r_k}{r_k - r_j} \right] m_{r_j} \quad (10)$$

因此,部分 ROI 码块的权重可表示为:

$$W_{Block} = W_{ROI} \cdot RWF_i^{f(r)} \quad (11)$$

3.4 算法步骤

AWF ROI 算法步骤如下:

- (1) 根据给定的 ROI 信息,生成 ROI 掩膜。
- (2) 根据 3.1 中所述方法,将码块分为背景块,完全 ROI 块和部分 ROI 块。
- (3) 对于每个码块,进行如下操作:
 - (a) 根据 ROI 掩膜确定该码块类型,若该块为部分 ROI 块,继续下一步,否则,转至(d);
 - (b) 对于部分 ROI 块,计算块中 ROI 系数因子 RWF_i ;
 - (c) 根据给定的码率,通过式(10),确定 $m = f(r)$;
 - (d) 根据式(8),确定该码块的权重系数 W_{Block} ,并将 W_{Block} 代入式(7)中计算失真。
- (4) 完成 EBCOT 剩余编码过程。

4 实验结果与分析

采用与 3.3 节中相同的实验环境,对无 ROI 编码方法,隐式 ROI 算法,Weighted Implicit ROI 算法以及 AWF ROI 算法进行比较.无 ROI 编码方法和隐式 ROI 算法用 Kakadu (V2.2.3) 软件实现,Weighted Implicit ROI 算法以及 AWF ROI 算法利用改进的 Kakadu 软件实现.所得实验结果如图 2。

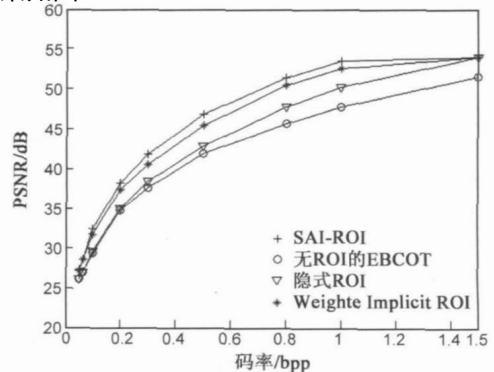


图2 不同方法下 lena 图像 ROI 区域的 PSNR

图2为采用不同方法对图像进行处理,重建图像的ROI区域的PSNR值,从中可以看出,在各种不同码率下,AWF-ROI算法的ROI图像质量均明显优于其他算法,PSNR值较隐式ROI算法高出4~6dB,较文献[5]中的Weighted Implicit ROI算法高出1~2dB。这是因为,AWF-ROI算法采用幂函数的形式,有效的调整了部分ROI块的权重,并针对当前码率,选取了最优的指数 m ,有效的减小了背景区系数的影响,进一步提高了ROI码块的优先级,从而保证含有较多ROI信息的码块被优先传递,因此,ROI区域的图像质量明显高于其他方法。图3为在码率为0.1bpp,ROI为图像中心1/4面积区域,采用不同方法对lena图像进行处理的结果(ROI区域)。



图3 0.1bpp, ROI=1/4, lena 图像的处理结果 (ROI区域)

由于插值点数有限,因此该权重自适应函数对于该图像以及其他图像来说可能不是最优化结果,并且,感兴趣区大小不同,权重指数的变化也就不同。在实际应用中,图像尺寸和感兴趣区大小是固定的,而不同图像的最优权重指数随码率变化的趋势是相同的。因此,在固定感兴趣区大小以及图像尺寸的前提下,相同的

最优化指数同样适用于不同图像。因此,在实际应用中,可以根据固定的权重自适应函数对所需压缩图像进行处理,实现自动化编码。图4为采用相同权重自适应函数对goldhill图像进行处理,并与其他方法进行对比所得实验结果。从图中可以看出AWF-ROI算法较其它算法ROI有更高的重建质量。

5 结论

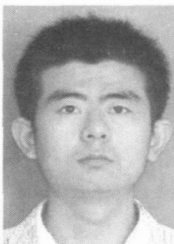
本文提出一种自适应的感兴趣区域编码算法,采取了一种自适应的权重调整机制,引入目标码率和ROI权重因子作为参数,建立权重自适应函数,实现对码块优先级的动态调整,保证更多ROI信息被优先编码。实验结果表明,该算法能够自动适应码率变化,恢复重建后ROI区PSNR较隐式ROI算法提高2~3dB,有效的保证了低码率下恢复图像ROI的质量。

作者简介:



孙超男, 1978年4月出生于哈尔滨, 哈尔滨工业大学自动化测试与控制系讲师, 博士研究生。2003年毕业于哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 获得硕士学位。主要研究方向为图像压缩编码、保密通信。

E-mail: sunchao@hit.edu.cn



王建峰男, 1984年6月出生于河北沧州, 哈尔滨工业大学自动化测试与控制系博士研究生。2008年毕业于哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 获得硕士学位。主要研究方向为图像压缩编码、保密通信。

E-mail: flyy@tju.edu.cn

姜守达男, 1964年9月出生于黑龙江伊春, 哈尔滨工业大学自动化测试与控制系教授、博导。主要研究方向为图像处理、虚拟试验及验证技术、自动化测试技术等。

参考文献:

- [1] Li Jiliang, Fang Xiangzhong, Zhang Dongdong. A new region of interest coding method to control the relative quality of progressive decoded Images[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Science, 2007, 12(4): 477-480.
- [2] Liu Wei, Wen Xue zhi, Duan Bo bo, et al. Real vehicle detection and tracking for lane change assist[J]. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2007(6): 252-257.
- [3] Lifeng Yu, et al. Region of interest reconstruction from truncated data in circular cone beam CT[J]. IEEE Transactions on Medical Maging, 2006, 7(25): 869-881. (下转第137页)

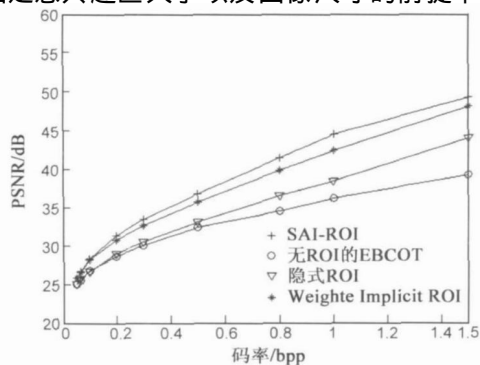


图4 不同方法下goldhill图像ROI区域的PSNR

- [5] Q Sun, D He, Q Tian. A secure and robust authentication scheme for video transcoding[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(10): 1232–1244.
- [6] C Y Lin, S F Chang. Issues and solutions for authenticating MPEG video[A]. Proceedings of the SPIE The International Society for Optical Engineering[C]. San Jose, CA: SPIE, 1999. 54–57.
- [7] P Yin, H H Yu. Semi fragile watermarking system for MPEG video authentication[A]. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing[C]. Orlando, FL: IEEE, 2002. 3461–3464.
- [8] Rui Du, Fridrich J. Lossless authentication of MPEG-2 video[A]. IEEE International Conference on Image Processing[C]. New York: IEEE, 2002. 893–896.
- [9] C D Roover, C D Vleeschouwer, F Lefebvre, et al. Robust video hashing based on radial projections of key frames[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(10): 4020–4037.

- [10] 李德毅, 刘常昱, 等. 不确定性人工智能[J]. 软件学报, 2004, 15(11): 1583–1594.
- Li Deyi, Liu Changyu, Du Yi, et al. Artificial intelligence with uncertainty[J]. Journal of Software, 2004, 15(11): 1583–1594. (in Chinese)

作者简介:



梁长垠 男, 教授, 高级技师, 深圳职业技术学院电子信息工程专业学科带头人, 目前主要从事多媒体信息安全、数字信号处理技术等领域内的研究工作。

E-mail: szcyliang@hotmail.com

(上接第 174 页)

- [4] Christopoulos C, Skodras A, Ebrahimi T. The JPEG2000 still image coding system: an overview[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2000, 46(4): 1103–1113.
- [5] Joan Bartrina Rapesta, et al. JPEG2000 arbitrary ROI coding through rate distortion optimization techniques[A]. Data Compression Conference[C]. IEEE Computer Society, 2008(70): 292–301.
- [6] 潘玉, 郭宝龙, 丁贵广. 一种新的基于率失真优化的感兴趣区域编码[J]. 计算机工程, 2005, (1): 106–109.

- [7] H Yang, M Long, H M Tai. Region of interest image coding based on EBCOT[J]. IEE Proc Vis Image Signal Process, 2005, 152(5): 590–596.
- [8] David S. Taubman, 等著, 魏江力, 等译. JPEG2000 图像压缩基础、标准和实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004, 4. 228–274.
- [9] Taubman D. High performance scalable image compression with EBCOT[J]. IEEE Trans Image Process, 2000, 9(7): 1158–1170.