

文章编号 1004-924X(2011)01-0175-08

基于游程和扩展指数哥伦布编码的任意形状 感兴趣区域图像编码

徐 勇^{1,2}, 徐智勇¹, 张启衡¹

(1. 中国科学院 光电技术研究所, 四川 成都 610209; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:给出一种上下文自适应的游程编码和扩展指数哥伦布编码。利用游程编码算法对图像小波系数及 ROI 掩模进行上下文自适应建模并输出三元组样本; 然后扩展普通的指数哥伦布编码, 使其可以编码由游程编码建模输出的三元组样本, 在对小波系数编码的同时可以携带感兴趣区域掩模标记信息。由此得到一种可以区别感兴趣区域和背景区域的高效编码算法, 并以此算法为基础提出一种感兴趣区域编码的编解码框架, 该框架包括 5/3 小波变换、小波域掩模标记生成、不均匀最佳量化、游程编码和扩展的指数哥伦布编码。该算法的游程建模过程简单, 熵编码算法可用闭合公式表达, 具有较高的可实现性。实验结果表明, 提出的算法支持多个任意形状的感兴趣区域, 感兴趣区域相对于背景区域的编码优先级可调, 并且可以获得高于基于 BbB-shift 的 SPIHT 算法的压缩性能。

关键词:图像编码; 感兴趣区域编码; 自适应游程编码; 指数哥伦布编码

中图分类号: TN919.81 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20111901.0175

Arbitrary shaped ROI image coding using Run-length coding and generalized Exp-Golomb coding

XU Yong^{1,2}, XU Zhi-yong¹, ZHANG Qi-heng¹

(1. *Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: A context adaptive tri-element Run length coding algorithm and an Exp-Golomb coding algorithm were introduced. The Run-length coding was used to model the image wavelet coefficients and the Region of Interest (ROI) mask and to yield tri-element codes. Then, the conventional Exp-Golomb coding was expanded to encode tri-element codes from Run-length coding and to carry the ROI mask together. Based on the two algorithms above, a high efficient algorithm to distinguish the ROI and background was obtained and a ROI codec framework was proposed. The framework includes 5/3 wavelet transform, wavelet domain mask generation, non-uniform optimal quantization, context adaptive tri-element Run-length coding and generalized Exp-Golomb coding. The tri-element Run-length coding in this algorithm is brief, and the expanded Exp-Golomb coding can be expressed by a closed formula. Experimental results show that the algorithm supports multiple arbitrary-shaped ROI and the adjustability of the ROI is prior to that of the background region. Furthermore, it achieves higher

收稿日期: 2010-04-06; 修订日期: 2010-06-30.

基金项目: 国防创新基金资助项目 (No. CXJJ-259)

compressing performance as compared with the BbB-shift based SPIHT compression algorithm.

Key words: image coding; Region of Interest(ROI) coding; adaptive Run-length coding; generalized Exp-Golomb coding

1 引言

在低带宽传输或存储容量受限的图像应用中,如果只对图像中特定部位或目标比较感兴趣(例如,医学图像中对病灶部位感兴趣,监控视频中对运动目标感兴趣),就可以对不感兴趣的背景区域进行高倍率的压缩,对感兴趣区域进行无损或近无损的压缩,以保证感兴趣区域有较高的图像质量,这就是感兴趣区域编码要解决的问题。

感兴趣区域编码通常是基于小波变换的一种图像压缩方法,这主要是因为小波变换具有独特的时频分析特性。小波在图像压缩中主要发挥能量聚集作用,在获得频域信息的同时,还可以保留频域信息的空间信息。因此,可以在图像小波域找到其感兴趣区域相应的小波系数,只要提高该类系数的编码优先级或对其进行较小失真的处理,就可以得到感兴趣区域编码的效果:在较低或极低码率的情况下,获得高质量的感兴趣区域。目前的感兴趣区域编码在功能上划分主要有两类:可描述的规则区域(矩形^[1],圆形^[2]等)和任意形状感兴趣区域^[3-5]。而在算法基础上划分,任意形状的感兴趣区域编码主要可以分为两类,一类是以 JPEG2000 为基础^[3-4],另一类是以 SPIHT 算法为基础^[6]。由于这两类算法是以位平面编码为特征的图像压缩算法,故基于这两类算法提出的感兴趣区域编码算法大多以位面平移的形式来处理背景和感兴趣区域的编码优先级,主要有最大位移法^[3],交错位移法等^[4-5]。它们的特点是在改变 ROI 区域的编码优先级的同时,可以保证解码端无误的区分 ROI 区域和背景区域,反移位时不至于混淆两种系数。

然而,基于位平面编码的图像压缩算法把图像小波系数以比特为单位进行处理,每个系数需要处理几次到十几次,所以计算复杂度较高,影响实时性。因此,本文基于一种低复杂度的编码算法^[7],给出了一种三元自适应游程编码和扩展指数哥伦布编码,并据此提出了一种任意形状感兴趣区域图像编码算法。该算法采用可以通过硬件

高速实现的小波变换及指数哥伦布编码。因此,为通过硬件实现实时及高速的感兴趣图像编码提供了一种有效可实现的算法。实验结果表明,该算法支持多个任意形状的感兴趣区域,感兴趣区域相对于背景区域的编码优先级可调,并且可以获得高于基于 BbB-shift^[4]的 SPIHT 算法的压缩性能。

2 基于游程和扩展指数哥伦布编码的任意形状感兴趣区域图像编码算法

与其它感兴趣区域编码一样,该算法也是基于小波变换。所不同的是该算法并不采用位平面编码或小波层次树编码。在本文算法中,按照 ROI 掩模,小波系数被分为 ROI 系数和背景系数,其中的 ROI 掩模通过逐层提取的方式产生。ROI 系数采用较小量化阶进行量化或不量化,以保留细节信息;而背景系数采用较大量化阶进行量化,以降低码率。由此产生了解码时如何区分 ROI 系数和背景系数的问题,如果混淆的话,就无法正确进行反量化过程。因此难点在于如何有效设计编码算法,既保证高的编码效率,又能区分开 ROI 系数和背景系数。为此,本文扩展了文献[7]中的低复杂度编码算法,提出了一种三元的自适应零游程编码,并扩展了传统 Exp-Golomb 编码,成功解决了这个问题。

2.1 图像的小波变换

小波变换是图像压缩中广泛采用的一种数学变换,它能够有效去除像素间相关性,使得图像信息聚集在较少系数上,便于后续熵编码进行压缩,其效果与 JPEG 标准中的离散余弦变换(DCT)相似,但克服了 DCT 变换编码算法带来的块效应。近几年基于小波变换的图像压缩算法发展迅速,最具代表性的有 JPEG2000 编码^[3]和 SPIHT 编码^[6]。由于小波变换独特的时频分析特性,出现了感兴趣区域图像压缩算法。

本文提出的感兴趣图像压缩算法也是利用小波变换的能量聚集性和时频分析特性设计的。采

用一种整数小波变换—CDF5/3小波^[8],它可以采用提升结构^[9]实现,提升结构主要由预测和更新两部分组成,式(1),(2)分别为CDF5/3小波的预测及更新方程。式中 x_{extent} 表示原始信号 x 经过边界扩展后的序列, $\lfloor * \rfloor$ 表示取整操作。

$$y(2n+1) = x_{\text{extent}}(2n+1) - \lfloor [x_{\text{extent}}(2n) + x_{\text{extent}}(2n+2)]/2 \rfloor, \quad (1)$$

$$y(2n) = x_{\text{extent}}(2n) + \lfloor [y(2n-1) + y(2n+1) + 2]/4 \rfloor, \quad (2)$$

对图像进行二维小波变换,首先对每行进行一维行变换,再对列进行列变换,这样实现一级小波变换。多级小波变换是通过迭代对上一级小波变换的低频子带进行小波变换得到。假设图像尺寸为 $M \times N$,那么小波变换级数为 L ,通过式(3)求出:

$$L = \lfloor \log_2(\min(M, N)) \rfloor - 1. \quad (3)$$

2.2 生成小波域的ROI标记

对图像进行感兴趣区域编码,首先需要确定感兴趣区域。由于个人兴趣,应用目的各异,对图像中哪一部分感兴趣,感兴趣程度是多少是存在差异的,所以可采用人工标记的方法确定感兴趣区域。如图1所示,在确定了图像中感兴趣区域后(图中所圈部分),就可以都到一个空域的掩模标记。

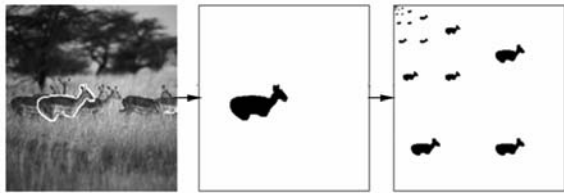


图1 图像感兴趣区域提取及其小波域掩模标记生成
Fig.1 ROI mark and its wavelet domain mask generation

为了获得小波域的ROI掩模信息(图1),针对各级小波系数之间的树状关系,本文采用树状提升的方法获得各级小波系数上的掩模信息。若将空域掩模视为0级小波子带,那么,对于 n 级小波变换,对于 i 从1到 n ,第 i 级中每个系数检查位于 $i-1$ 级子代的4个节点是否是ROI系数,即小波域掩模值为0,如果其4个子节点中有值为0的节点,那么该节点也赋值为0,否则为1。最后,得到一棵树,如式(4)定义,对于树中的每个节点,如果其所有子孙节点为1,那么该节点也为1,否则为0,这棵

树便是小波域的ROI掩模,如图1所示。

$$ROI_{\text{DWT}}(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{All Des}(i, j) = 1 \\ 0, & \text{if any Des}(i, j) = 0 \end{cases}. \quad (4)$$

2.3 优化的ROI-BG不均匀量化

多级小波变换后的图像小波系数包含若干子带(图2),每个子带的系数在重建时对图像的贡献不同。因此,子带变换增益 G_b 表示子带 b 的IDWT综合基矢量的平方范数^[10],它衡量了子带中每个系数失真对重建图像失真的影响程度,为最小化图像MSE失真,对变换增益较大的子带要采用较小的量化阶。考虑Dead-Zone均匀尺度量化,子带 b 的最优量化阶 Δ_b 由式(5)给出^[3],式中的 Δ 为基本量化步长,通过调整 Δ 可控制码率和失真。对于正交小波变换,可以将变换增益近似为式(6),其中 d_b 表示子带 b 所属的变换级序号。

$$\Delta_b = \Delta \cdot \sqrt{\frac{1}{G_b}}, \quad (5)$$

$$G_b \approx 2^{2d_b}. \quad (6)$$

小波变换 LL 子带表示图像低频信息, HL 和 LH 表示竖向和横向边界信息,而 HH 子带表示斜向的边界信息。由于人类对 HH 子带的敏感程度低于其他子带,并考虑到人类视觉加权和易于硬件实现,根据式(5)~(6)给出了三级小波变换系数的优化量化阶。由式(7)~(11)得到,其分为两种量化阶,第一种是背景区域的量化阶 Δ_{BG} ,另一种是感兴趣区域的量化阶 Δ_{ROI} ,量化阶中每个数对应每个子带。以 L 级小波变换产生 $3 \times L + 1$ 个子带为例:

$$e(k) = \lfloor (k-1)/3 \rfloor - L, \quad k = [1, 3 \times L + 1], \quad (7)$$

$$e_{\text{BG}}(k) = \max\{e(k) + I_{\text{BG}}, 0\}, \quad (8)$$

$$e_{\text{ROI}}(k) = \max\{e(k) + I_{\text{ROI}}, 0\}, \quad (9)$$

$$\Delta_{\text{BG}}(k) = 2^{e_{\text{BG}}(k)}, \quad (10)$$

$$\Delta_{\text{ROI}}(k) = 2^{e_{\text{ROI}}(k)}. \quad (11)$$

这样,背景重要性参数 I_{BG} 和感兴趣区域重要性参数 I_{ROI} 就可以独立调整。当 I_{BG} 和 I_{ROI} 相等时,说明重要性相同,都为0时为无损压缩; I_{ROI} 大于 I_{BG} 时表示感兴趣区域重要性大于背景区域,差值越大越重要,反之亦然。采用由式(7)~(11)得到的量化阶对图像小波系数进行ROI-BG量化,

可以减少 ROI 系数的量化误差,其示意图如图 2 所示。

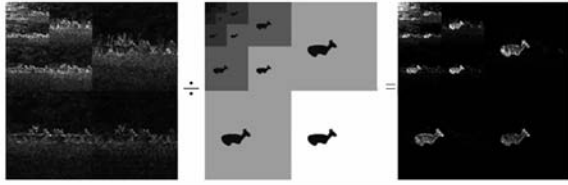


图 2 图像小波系数不均匀量化示意图

Fig. 2 Non-uniform optimal quantization of wavelet coefficients

2.4 三元自适应游程编码

自然图像具有局部平滑特性,因此量化后的图像小波系数主要分布在 0 值附近,而且 0 值占绝大部分且集中在一起。一般采用游程编码对如此类分布的信源进行压缩。在感兴趣区域编码的图像压缩中,由于感兴趣区域和背景区域采用了不同的量化策略,解码时也必须区分感兴趣区域和背景系数,才能正确恢复图像。另外,任意形状的图像的感兴趣区域无法像圆形^[2],矩形等^[1]用简单的位置、形状参数精确描述,因此,在对图像小波系数编码的同时,也要对小波域的感兴趣区域标记进行编码。通过分析可以得知,并不是所有的小波域的感兴趣区域掩模标记都是有用的,仅非零小波系数对应的掩模标记才是有用的。为此本文设计了一种上下文自适应的三元游程编码算法,解决此问题。

编码时编码器以‘Z’形扫描图像小波系数和小波域 ROI 掩模标记,输出三元组:(Data,if_Co-

effi,if_ROI),如图 3 中所示。表 1 中解释了三元组中每个元素的意义。

表 1 上下文自适应游程编码输出三元组意义

Tab.1 Tri-element output of context adaptive Run-length coding

符号	数值	意义
Data	自然数	代表小波系数值或游程值
if_Coeffi	0	该 Data 为游程值
	1	该 Data 为小波系数
if_ROI	0	该 Data 为 ROI 系数
	1	该 Data 为背景系数
	*	无关

下面介绍该游程编码具体工作原理,以图 3 中一段数据为例,其为图像量化后的小波系数以‘Z’形扫描顺序得到的一维数据串,第一行为 ROI 标记,第二行为量化后的小波系数,第三、四、五行为编码输出三元组。编码过程可描述为:自适应零游程包含两种模式:普通模式和零游程模式,编码时做前向自适应建模并在两种模式中转换;规则为:初始模式为普通模式,该模式下直接将输入样本作为 Data 输出,If_Coeffi=1,If_ROI 为当前位置的标记,若连续输入 0 达到 2 个,跳入零游程模式;在零游程模式无输出,只计数 0 的个数,直到输入非 0 时退回普通模式,并输出 0 游程个数给 Data,If_Coeffi=0,随后输出该非 0 样本为 Data 值,此时 If_Coeffi=0;以上过程中的 If_ROI 为当前位置的标记,若 Data=0 或 If_Coeffi=0,那么 If_ROI 的值不重要,标记为 * 号。

ROI Mask:	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0 ...
DWT Coeffi:	2	-1	0	0	1	3	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0 ...
Data:	2	-1	0	0	01	3	-8	0	0							62	0 ...
If_Coeffi:	1	1	1	1	01	1	1	1	1							01	1 ...
If_ROI:	1	0	*	*	*1	1	0	*	*							*1	* ...

图 3 输出三元组的上下文自适应零游程编码

Fig. 3 Context adaptive Run-length coding to generate tri-element output

2.5 扩展三元指数哥伦布编码

指数哥伦布编码^[11]对于服从指数分布的自然数来说是最佳编码,不能对有符号数编码,因此

首先需要对游程编码产生的三元组内的 Data 做非负映射,映射为自然数,该映射方法与 H264 的方法^[12]一样。下面将对传统哥伦布编码进行扩

展,以满足感兴趣图像压缩的要求。

指数哥伦布编码由两部分组成^[13]:一元码(前缀)+组内标号。0 阶指数哥伦布编码的闭合公式可以归纳如下:假设要对信源中值为 CodeNumber 的数进行 0 阶指数哥伦布编码,那么其码字可以归纳为式(12)~(14)。其码长为 $2l + 1$ 。

$$EG(\text{CodeNumber}) = \overbrace{0 \cdots 0}^l 01 \overbrace{x_{l-1} \cdots x_0}^{l+1}, \quad (12)$$

$$l = \lfloor \log_2 [\text{CodeNumber} + 1] \rfloor, \quad (13)$$

$$\overbrace{1 x_{l-1} \cdots x_0}^{l+1} = \text{GetRight}(\text{Bin}(\text{Code Number} + 1), l + 1), \quad (14)$$

其中, $\lfloor * \rfloor$ 表示取下整数; $\text{Bin}(c)$ 表示将非负数 c 表示为二进制的一串比特串; $\text{GetRight}(S, n)$ 表示从比特串 S 中取出最右边 n 个比特。

为了编码游程编码得到的三元组元素,将指数哥伦布编码做以下扩展(如表 2 所示)。表中定义与式(12)~(14)中定义一致,该扩展后的指数哥伦布编码,具有携带 ROI 掩模标记的能力,它根据游程编码建模得到三元组:(Data, if_Coeffi, if_ROI),查表 2 得到码字。

表 2 扩展后的指数哥伦布编码

Tab. 2 Expanded Exp-Golomb coding

Data	if_Coeffi	扩展后码字
Others	0	$\overbrace{0 \cdots 0}^l 01 \overbrace{x_{l-1} \cdots x_0}^{l+1}$
	1	$\overbrace{0 \cdots 0}^l 01 \overbrace{x_{l-1} \cdots x_0}^{l+1} + \text{If_ROI}$
0	*	1

2.6 任意形状感兴趣区域图像编码算法框架

前面几节中介绍的图像小波变换、生成小波域掩模只适应三元游程编码和扩展指数哥伦布编码等技术,基于这些技术,图 4 中给出感兴趣区域图像编码算法的编解码框架:首先通过人工标记感兴趣的区域,获得 ROI 标记;随后对原始图像进行小波变换,并把 ROI 标记转换为小波域掩模标记;再按照小波域掩模对小波系数进行不均匀最佳量化;然后对量化后小波系数进行自适应三元游程编码;最终输出三元组通过扩展指数哥伦布编码器编码得到压缩码流。图像解码过程相当于编码过程的反过程,只是扩展的指数哥伦布编

码和游程解码需要交互同时解码,解码得到感兴趣区域编码的图像。其中,背景重要性参数 IBG 和感兴趣区域重要性参数 IROI 用来调节感兴趣区域的相对于背景的优先级。

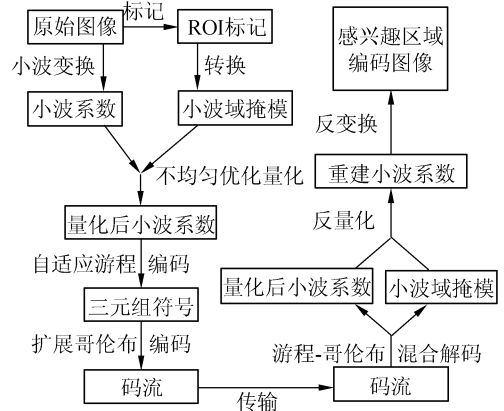


图 4 感兴趣区域编码图像压缩编解码框架

Fig. 4 Framework of proposed ROI coding algorithm

3 实验结果及分析

为了测试该算法的性能,在实验中对 512×512 的图像进行感兴趣区域编码,采用 8 级 5/3 小波变换,在不同码率下获得感兴趣区域编码的图像。图 5 展示了 Deer. bmp 图像和 Racoon. bmp 图像从低码率到高码率的渐变过程。其中 Deer 图像的 ROI 为图像中最靠前的一只鹿;图像 Racoon 的 ROI 为两个浣熊的头部。可以看出,该算法支持多个任意形状的感兴趣区域,在低码率时,ROI 比背景区域有更高的编码优先级,图像质量较好,而对于作者不关心的背景区域,图像质量较低。

实验对上面两张图像的感兴趣区域编码并统计了不同码率下的感兴趣区域 ROI 和背景 BG 的峰值信噪比 PSNR,并与基于 SPIHT 的 BbB-Shift 算法^[4]进行比较,得到了图 6 中的两个曲线图。从图中曲线可以看出,该算法在图像感兴趣区域质量获得了较明显的提高,而在背景区域比基于 BbB-Shift 的 SPIHT 算法提高较少。因此,从相同码率下压缩图像质量来看,本文算法是优于基于 BbB-Shift 的 SPIHT 算法的。这是由于在进行小波系数的 BbB-shift 交错移位时,在感兴趣区域和背景区域对应的小波系数中交错地插入

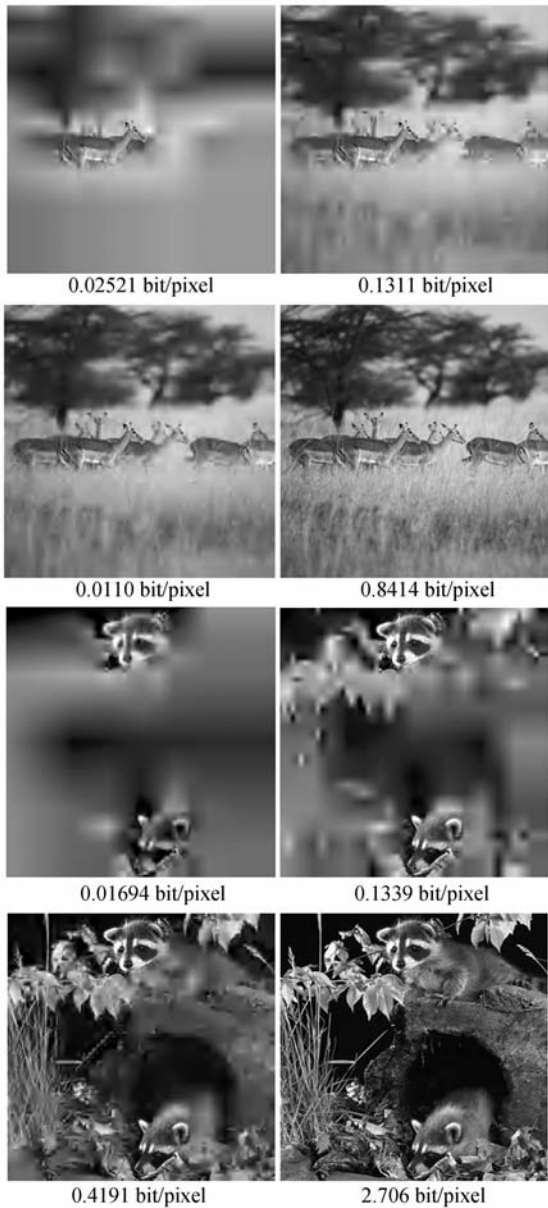
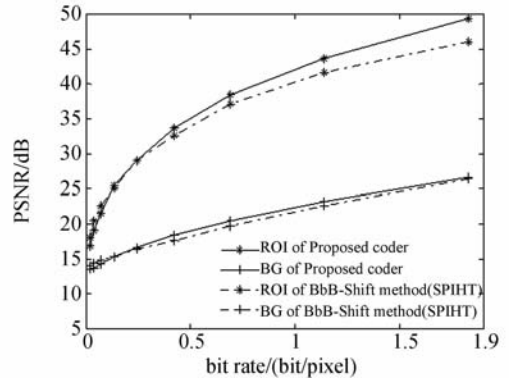


图 5 Deer 和 Raccoon 图像从低码率到高码率时感兴趣区域编码的图像效果

Fig. 5 Deer. bmp and Raccoon. bmp images by ROI coding from low bit rate to high bit rate

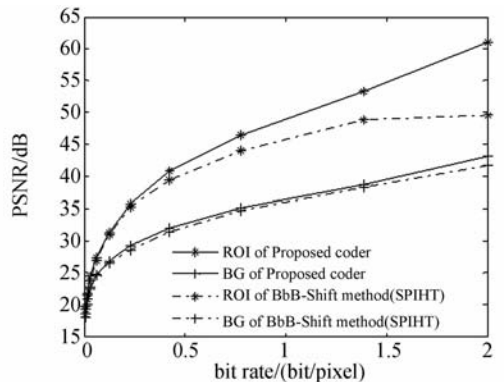
了若干 0 位面,这些增加出来的位平面在 SPIHT 编码中会占用一定码率,影响了该算法的压缩性能。

以上实验结果表明,本文算法支持多个任意形状的感兴趣区域编码,感兴趣区域相对于背景区域的优先级可调,而且具有较高的编码效率。另外,由于算法中的自适应游程编码建模简单,扩展的指数哥伦布编码可以用闭合公式表达,而且



(a)

(a) Raccoon. bmp



(b)

(b) Deer. bmp

图 6 本文算法与使用 SPIHT 的 BbB-shift 算法在 ROI 和背景区域的 PSNR 比较

Fig. 6 Comparison between proposed coder and BbB shift method based on SPIHT in PSNRs of ROI and background

算法中其他各部分均可采用 FPGA 等硬件实现,具有较高的可实现性。

4 结 论

目前的感兴趣区域编码算法主要是基于位平面编码,如 JPEG2000 和 SPIHT 等,一般采用交错位移,最大位移等优先级提升手段。这些算法较为复杂,前后数据依赖性较大,计算量也较大。因此,本文提出一种三元自适应零游程编码,并扩展了传统指数哥伦布编码,使其可以携带掩模标记信息,结合上下文自适应的游程编码,得到一种可以区别感兴趣区域和背景区域的高效编码算法,并以此算法提出一种感兴趣区域编码的编解

码框架,它包括了小波变换、小波域掩模标记生成、不均匀最佳量化、自适应三元游程编码和扩展的指数哥伦布编码。实验结果表明,该算法支持多个任意形状的感兴趣区域,感兴趣区域相对于背景区域的编码优先级可调,在与基于 BbB-shift 的 SPIHT 算法的压缩性能对比实验中获得了较

好的性能。另外,该算法也具有较高的可实现性,算法中涉及的各部分计算基本已有成熟的硬件实现结构,或通过对现有结构进行简单改进即可实现。因此,该算法具有较高的硬件可实现性,可作为算法基础用以开发各种低码率图像压缩传输系统。

参考文献:

- [1] KUMARAYAPA A, ZHANG Y. More efficient ground truth ROI image coding technique: implementation and wavelet based application analysis [J]. *Zhejiang Univ Sci A*, 2007,8(6):835-840.
- [2] 郝红卫,蒋蓉蓉,石雅珊. 一种圆形感兴趣区域图像压缩算法[J]. *自动化学报*,2008,34(5):601-604.
HAO H W, JIANG R R, SHI Y SH. An image compression algorithm for circle shaped ROI [J]. *ACTA Automatica Sinic.*, 2008,34(5):601-604.
- [3] DAVID S T, MICHEAL W M. *JPEG2000 Image Compression Fundamentals, Standards and Practice* [M]. Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [4] WANG Z, BOVIK A C. Bitplane-by-bitplane shift (BbBShift)-a suggestion for JPEG2000 region of interest image coding [J]. *IEEE Signal Processing Letters*,2002,9(5):160-162.
- [5] 张立保,王珂,李光鑫. 基于部分位平面交替偏移的感兴趣区图像编码 [J]. *光电子·激光*,2006,17(3):356-367.
ZHANG L B, WANG K, LI G X. Region of interest image coding based on partial bit-planes alternating shift[J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2006,17(3):356-367.
- [6] SAID A, PEARLMAN W. A new, fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees [J]. *IEEE Trans. Circuits Systems Video Techno.*,1996,6(3):243-250.
- [7] 徐勇,徐智勇,张启衡,等. 适于硬件实现的低复杂度图像压缩[J]. *光学精密工程*,2009,17(9):2262-2268.
- [8] XU Y, XU ZH Y, ZHANG Q H. A low complexity image compression scheme for hardware implementation[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17(9):2262-2268. (in Chinese)
- [9] COHEN A, DAUBECHIES I, FEAUVEAU J C. Biorthogonal bases of compactly supported wavelets [J]. *Communications on Pure and Appl. Math.*, 1992,45(5):485-560.
- [10] TAN K C B, ARSLAN. Low power embedded extension algorithm for lifting-based discrete wavelet transform in JPEG2000 [J]. *C. Electronics letters*, 2001, 37(25):1328-1330.
- [11] WOODS J W, NAVEEN T. A filter based bit allocation scheme for subband compression of HDTV [J]. *IEEE Trans. Image Process*, 1992, 1: 436-440.
- [12] TEUHOLA J. A compression method for clustered bit-vectors [J]. *Information Processing Letters*,1978,7:308-311.
- [13] IAIN E G, RICHARDSON H. *264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-generation Multimedia* [M]. John Wiley & Sons, Ltd., 2003.
- [14] 吴乐南. 数据压缩[M]. 2版.北京:电子工业出版社,2005.
WU L N. *Data Compression*[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005. (in Chinese)

作者简介:



徐 勇(1984—),男,云南红河人,博士研究生,2006 年于中国科学技术大学获得学士学位,主要从事基于小波的高速图像数据压缩,基于 FPGA 的高性能信号处理,硬件计算结构设计等研究。E-mail:andrexu@163.com



张启衡(1950—),男,四川成都人,研究员,博士生导师,主要从事光电探测、目标跟踪和光电系统的研究。E-mail:qhzhang@ioe.ac.cn

导师简介:



徐智勇(1967—),男,四川崇州人,研究员,硕士生导师,主要从事信号与信息处理和光电系统的研究。E-mail:xzy158@163.com

●下期预告

高功率 XeCl 准分子激光系统前端平滑实验

薛全喜,赵学庆,华恒祺,郑国鑫,张永生

(西北核技术研究所 激光与物质相互作用国家重点实验室,陕西 西安 710024)

为得到物面光强分布均匀、能量尽量大的部分相干 XeCl 准分子激光前端种子光,采用 ASE 法和散射法开展了前端平滑实验研究。首先,基于一台窄脉冲 XeCl 准分子激光器,实验研究了种子光的物面光斑均匀性、能量、发散角随光束口径及物面位置的变化规律。其次,分析了影响种子光参数的因素。最后,开展了验证实验。结果表明:ASE 法种子光物面光斑不均匀性最小为 2.01%,能量为 μJ 量级,但发散角在水平和竖直方向有较大差别。散射法种子光物面光斑不均匀性最小为 1.54%,能量为百 nJ 量级,发散角为 5.5 mrad,衍射极限倍数处于 14~37 之间可调。前端泵浦腔尺寸和入射激光能量、散射板上光斑大小、收集透镜焦距分别是影响两种种子光参数的重要因素。经初级放大器放大,光束物面光斑不均匀性为 2.04%,能量达到 8.0 mJ。满足高功率 XeCl 准分子激光角多路系统建设需求。