

文章编号 1004-924X(2012)04-0896-10

## 低码率下任意形状感兴趣区域编码

杨 晓, 杨学友\*, 叶声华

(天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

**摘要:**针对任意形状感兴趣区域(ROI)编码算法在低码率下 ROI 重建质量差、编码时间长等问题,在优化的集合分裂树算法(SPIHT)基础上提出了一种适用于低码率的任意形状 ROI 编码方法。利用小波系数之间的空间位置相似性和所用小波滤波器的特征,以极少的码率实现了任意形状 ROI 掩模的描述,为提高算法效率奠定了基础;利用改进后的空间方向树结构以集合的形式测试 ROI 区域中更多的节点,提高了 SPIHT 中分类排序的扫描效率;以小波子带为单位的量化方法通过为每个小波子带选择合适的量化阈值优化了码流的输出,提高了低码率下 ROI 的重建质量。实验表明,提出的方法支持对多个任意形状 ROI 的编码;在不到 0.04 bit/pixel 的码率下描述出了整幅图像中任意形状 ROI 的掩模信息;在码率小于 0.5 bit/pixel 时,ROI 的峰值信噪比(PSNR)比基于 JPEG2000 的多子带位平面平移(MSBSHIFT)方法提高了 2~7 dB,编码时间缩短了 30%以上。该方法具有 ROI 的重建质量高、编码速度快等特点,适于在低码率下应用。

**关键词:**任意形状感兴趣区域;感兴趣区域掩模;空间方向树;量化方法;Huffman 编码

**中图分类号:** TN919.8 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122004.0896

## Arbitrary shape ROI image encoding at low bit rate

YANG Xiao, YANG Xue-you\*, YE Sheng-hua

(State Key Laboratory of Precision Measuring Technology & Instruments,  
Tianjin University, Tianjin 300072, China)

\* Corresponding author, E-mail: xueyouy@tju.edu.cn

**Abstract:** An arbitrary shape ROI coding method based on modified Set Partitioning in Hierarchical trees (SPIHTs) is proposed to solve the problems of arbitrary shape Region of Interest(ROI) coding algorithms in low reconstructed image quality and inefficiency at a low bit rate. The ROI mask is described by combining the similarity of spatial position among wavelet coefficients with the specific wavelet filter at an extremely low bit rate, which lays a foundation for improving coding efficiency. The modified SPIHT partitioning structure is used to improve the coding efficiency of sorting pass by grouping more ROI entries together. A quantization method based on each wavelet subband optimizes the output bit stream in ROI encoding and improves the reconstructed image quality by choosing the proper threshold for each subband. Experiment results show that the proposed method can support multiple arbitrary shape ROIs and can describe the ROI mask information of the whole image at very low bit rate (less than 0.04 bit/pixel). Furthermore, at the bit rate less than 0.5 bit/pixel, the pro-

收稿日期:2011-12-28;修订日期:2012-02-04.

基金项目:国家自然科学基金重点项目(No. 50735003),国家自然科学基金资助项目(No. 50705065)

posed algorithm has improved its Peak Signal to Noise Ratio(PSNR) by 2—7dB, and reduced the encoding time above 30% as compared with those of Multiple Subband Bitplane Shift (MSBShift) algorithm based on JPEG2000. It is concluded that the proposed method has higher reconstructed image quality, faster coding speed and is fit for image application at the low bit rate.

**Key words:** arbitrary shape Region of Interest(ROI); ROI mask; spatial orientation tree; quantization method; Huffman encoding

## 1 引言

任意形状感兴趣区域(ROI, Region of Interest)编码可以使具有不规则形状的观测目标在低码率下获得较高的图像质量,因此在一些传输带宽或存储容量受限的场合(例如遥感图像的传输与存储系统、远程医疗系统等)有着广泛的应用。在这些场合下,除了要保证 ROI 中图像具有较高的重建质量、支持多个任意形状的 ROI 编码之外,还需要具有实时性高的特点以适用于低码率下图像的传输和存储<sup>[1-2]</sup>。

从实现方式来看,任意形状的 ROI 编码算法多采用以位平面平移的方式来实现<sup>[3]</sup>。其中, JPEG2000 标准中的 Maxshift 方法是最早使用这一方式的方法,之后一些学者又提出了一些改进的方法,如 SCMSHift<sup>[4]</sup>, POSHift<sup>[5]</sup> 和 MSB-Shift<sup>[6]</sup>等方法,这些方法的特点是通过对比位平面采用不同的排列方式来调整 ROI 的编码优先级并使解码端能够准确地地区分出 ROI 和背景<sup>[3]</sup>。但是这种方式人为地扩展了位平面的数量,增加了冗余数据位的输出频率,加大了低码率下冗余比特位在有限码流中的开支,因此影响了 ROI 的重建质量和算法的实时性。从算法的基础上来看, ROI 编码主要分为以 JPEG2000 为基础的编码<sup>[7-8]</sup>和以 SPIHT 为基础的编码<sup>[9-10]</sup>,两者的压缩性能相近,但 SPIHT 算法结构简单,执行速度快<sup>[11]</sup>,因此更适合用于低码率下的 ROI 编码中,并受到了诸多研究者的关注<sup>[12-16]</sup>。但这些研究都集中在 ROI 编码的实现方式、ROI 系数的标记以及标记优化上,没有考虑到 SPIHT 的结构在 ROI 编码中存在的不足,如:分类排序中存在着较多的低效扫描,降低了 ROI 编码的效率;又如,对所有子带系数进行统一量化的策略中存在着编码冗余,不利于低码率下 ROI 中图像质量的提高。

针对上述问题,本文从掩模的角度出发,结合实时性能较好的 SPIHT 算法给出了一种适用于低码率下的任意形状 ROI 编码算法。该方法利用 ROI 在同一级子带上的相似性和熵编码实现了以极低的码率对任意形状 ROI 掩模的描述,为在低码率下利用对 ROI 系数和背景系数(BG, Back Ground)的精确编码来提高算法的编码效率打下了基础;通过对 SPIHT 中空间方向树结构的优化提高了 ROI 编码中分类排序的扫描效率;利用以子带为单位的量化策略在码率有限的情况下将更多的比特用于提高 ROI 的图像质量上。实验表明,本文所提出的方法支持多个任意形状的 ROI 编码,能以极低的码率描述出任意形状的 ROI 掩模,并在与基于 JPEG2000 算法的 MSBShift 方法的对比中获得了更高质量的重建图像和更快的执行速度,满足了低码率下任意形状 ROI 编码的要求。

## 2 低码率下任意形状的 ROI 编码

在任意形状 ROI 编码的实现方式上,与位平面平移方法不同,本文用掩模来标记需要编码的 ROI 系数,并对 ROI 系数和 BG 系数利用改进的 SPIHT 算法进行精确编码,以减少低码率下冗余比特的输出。由此就产生了在有限的码率下如何用尽可能少的码流描述出 ROI 掩模和如何通过改进 SPIHT 算法将更多的码元用于 ROI 系数的编码并缩短算法的编码时间这两个问题。为此,本文提出了一种以极少的码率描述整个小波域 ROI 掩模的方法,并通过改进 SPIHT 算法中空间方向树结构的优化、量化方法的改进和 ROI 掩模的使用,解决了这两个问题。

### 2.1 ROI 掩模的生成

ROI 掩模是一个对应于整个小波域的比特平面,用于标记 ROI 系数的位置。目前,常用的 ROI 掩模生成方法(回溯法和衍生法<sup>[17]</sup>)所产生

的编码比特数量比较多,不适宜用于低码率的 ROI 编码中。

为了以尽可能少的比特获得 ROI 掩模信息,本文根据小波系数在同级子带上的空间位置相似性(如图 1 所示),结合所用小波滤波器的特征,在子带上的掩模确定后,再用  $LL_1$  的掩模推断其他各级子带上的掩模。

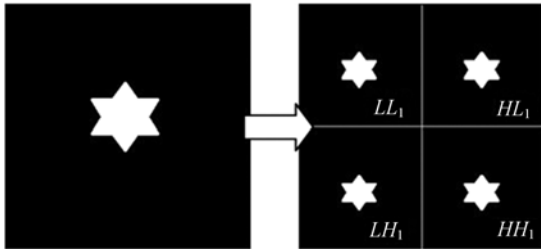


图 1 ROI 在同一级子带上的相似性

Fig. 1 ROI mask similarity in wavelet subbands of the same level

以 5/3 小波为例,设  $X(i, j)$  表示图像中的 ROI 样本点,  $LL_1(i, j)$ 、 $LH_1(i, j)$ 、 $HL_1(i, j)$  和  $HH_1(i, j)$  分别是子带  $LL_1$ 、 $LH_1$ 、 $HL_1$  和  $HH_1$  上的样本点。根据奇偶性,图像中样本点的坐标可以分为  $X(2i, 2i)$ 、 $X(2i, 2i+1)$ 、 $X(2i+1, 2i)$  和  $X(2i+1, 2i+1)$  4 种。根据回溯法,若重构图像中样本点  $X(2i, 2i)$ , 需要样本点  $LL_1(i, i)$ 、 $HL_1(i, i)$ 、 $HL_1(i-1, i)$ 、 $LH_1(i, i)$ 、 $LH_1(i, i-1)$ 、 $HH_1(i, i)$ 、 $HH_1(i-1, i)$ 、 $HH_1(i, i-1)$  和  $HH_1(i-1, i-1)$ 。当  $X(2i, 2i)$  在子带  $LL_1$  中重构系数  $LL_1(i, i)$  确定之后,则样本点  $X(2i, 2i)$  在其他 3 个子带上的重构系数可根据 ROI 在同一级子带上的相似性用以下方式获得:首先可以确定其他 3 个子带的对应点  $HL_1(i, i)$ 、 $LH_1(i, i)$  和  $HH_1(i, i)$ , 对于  $HL_1$  子带,将  $HL_1(i, i)$  向左延伸一个像素得到  $HL_1(i-1, i)$ , 对于  $LH_1$  子带,将  $LH_1(i, i)$  向上延伸一个像素得到  $LH_1(i, i-1)$ , 对于  $HH_1$  子带,将  $HH_1(i, i)$  向上延伸一个像素得到  $HH_1(i, i-1)$ , 然后再将  $HH_1(i, i)$  和  $HH_1(i, i-1)$  同时向左延伸一个像素得到  $X(2i, 2i)$  在  $HH_1$  子带上的掩模(如图 2 所示)。而对于其他的 3 种类型坐标  $X(2i, 2i+1)$ 、 $X(2i+1, 2i+1)$  和  $X(2i+1, 2i)$  也可用相同的方法由子带  $LL_1$  中的掩模推出其在  $HL_1$ 、 $LH_1$  和  $HH_1$  3 个

子带上的掩模。在第一分辨级中所有子带的掩模确定之后,对  $LL_1$  可继续利用回溯法解出下一分辨级中所有子带的掩模,直至最高分辨级。与之类似,其他类型的小波也可用这种思路得到小波域上的 ROI 掩模。因此,只需将子带  $LL_1$  中的掩模嵌入码流,解码端就能利用该方法结合所用小波的重构表达式得到整个小波域的 ROI 掩模。

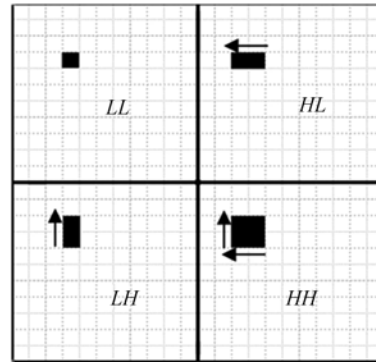


图 2 ROI 掩模的延伸过程(箭头表示该子带中点的延伸方向)

Fig. 2 Extension of ROI mask (arrows show the extension direction of the points in this subband)

上述方法仅用原来四分之一的码率描述出了整个小波域的掩模信息,但  $LL_1$  子带中的掩模仍然存在着大量的统计冗余,因此对  $LL_1$  子带中的掩模进行 Huffman 编码还可以大幅度地减少码元的数量。

## 2.2 空间方向树结构的改进

掩模标记出了需要编码的 ROI 系数在整个小波域上的位置,因此,在 SPIHT 算法对 ROI 系数分类排序的过程中,只有扫描到掩模标记的 ROI 系数或含有掩模标记的 ROI 系数的集合在小波域上所处的位置时才会向码流中输出编码比特。但由于在 ROI 编码过程中没有改变 SPIHT 算法中分类排序的扫描方法,因此, SPIHT 的分类排序方法中存在的耗时长,扫描过程中产生的冗余比特数量较多等问题在 ROI 编码中仍然存在。因此,本节从分类排序的角度对 SPIHT 的 ROI 编码算法进行了分析,并通过对空间方向树结构的改进提高了 ROI 编码中扫描的有效性,降低了分类排序中产生的冗余。

在 SPIHT 算法的排序过程中,不重要集合链表(LIS)是将相邻的 4 个系数作为一个集合来

进行处理的,而不重要系数链表(LIP)是以系数为单位来编码的<sup>[16]</sup>。在实际的应用中,原始图像上所选的 ROI 具有区域性,因此在各个小波子带上的 ROI 系数也具有区域性。此时,若 ROI 区域中按  $2 \times 2$  方式组合的 4 个节点系数都是不重要的,LIS 在编码时会将这 4 个节点作为一个集合只输出 1 个比特位,而在 LIP 则要输出 4 个比特位才能完成编码。所以,在对含有绝对值较小系数的 ROI 区域进行分类排序时,LIS 链表的编码效率要高于 LIP 链表。但在原始的方向树结构下(如图 3(a)),LIS 链表的这一优势并没有得到充分发挥,这主要是因为,在分类排序时,最高级分辨级的 LH、HL 和 HH 3 个子带中所含的系数绝对值较小,而这 3 个子带中的 ROI 系数都是在效率较低的 LIP 中以系数为单位进行扫描和编码的,不仅延长了算法的编码时间,也增加了冗余比特的数量,不利于低码率下 ROI 重建质量的提高。

除了上述的不利影响之外,原始的方向树结构也没有考虑到低频子带中相邻系数的相关性对编码时间的影响。如表 1 所示,以 3 个  $512 \times 512$  灰度经典测试图像为例,利用  $5/3$  整数小波对测试图像进行  $n$  级小波变换,将最高级低频子带  $LL_n$  中的系数按照  $2 \times 2$  的方式组成一个集合,用  $S_0$  来表示 4 个系数的绝对值都处于同一个量化区间上的集合,从表 1 中可以看出,在  $n < 6$  的情况下, $S_0$  所占的比例均大于 45%。由于低频子带上的 ROI 系数具有区域性, $S_0$  所描述的集合在低频子带的 ROI 区域中也是存在并占一定比例的,因此如果仍在原方向树结构下使用 LIP 链表对  $LL_n$  中的 ROI 区域内的节点逐一进行扫描,会降低扫描的有效性,影响算法的实时性。

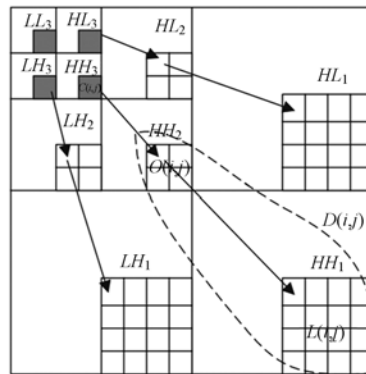
表 1  $n$  级小波变换后各测试图像中  $S_0$  所占比例

Tab. 1  $S_0$  proportion in different testing images after  $n$ -level wavelet transform

图片名字	$n=3$	$n=4$	$n=5$
Lena	56.71	52.34	47.62
Barbara	52.19	48.35	45.18
Gold-hill	60.26	55.16	51.37

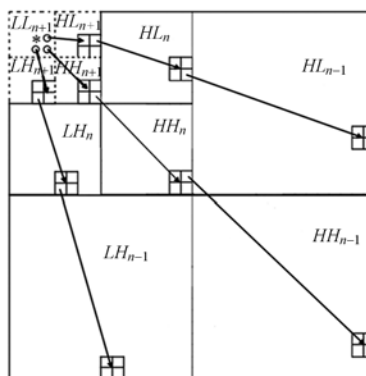
为了充分发挥链表编码效率高的优势和提高低频子带中节点扫描的效率,本文对 SPIHT 中

的空间方向树结构进行了改进:将最高级低频子带  $LL_n$  虚拟分解为  $LL_{n+1}$ ,  $LH_{n+1}$ ,  $HL_{n+1}$  和  $HH_{n+1}$  4 个虚拟子带。在新的结构中,将  $LL_{n+1}$  作为空间结构树的树根,树根中每 4 个系数按照  $2 \times 2$  的方式组成一个集合块。在集合块中,规定左上角的系数没有后代(如图 3(b)中 \* 所指示的节点),其他 3 个系数在所处集合块中位置的同方向上更高频子带的对应位置上均有后代。对于  $LL_{n+1}$  之外的其他的子带,它们的系数在同方向上更高频子带的对应位置上也都有后代(如图 3(b)所示)。



(a) 原始的空间方向树结构

(a) Spatial orientation tree of SPIHT algorithm



(b) 改进的空间方向树结构

(b) Modified spatial orientation tree for SPIHT algorithm

图 3 空间方向树结构的改进

Fig. 3 Modification of spatial orientation tree

在新的空间树结构下,算法在初始化时只将树根  $LL_{n+1}$  的系数放入 LIP,将  $LL_{n+1}$  中有子孙的节点放入 LIS,并标记为 A 类。与原始的结构相比,改进的空间树结构通过只将低频子带中 25% 的节点放入 LIP 中以系数为单位来进行处

理,将低频子带中其他的节点和最高级的高频子带中所有的节点都移入了效率更高的 LIS 链表中以集合的形式进行编码。这不仅减少了 ROI 系数在 LIS 中的数量和 LIS 的初始化长度,增强了低码率下对 ROI 区域中节点的扫描效率,缩短了分类排序的时间;而且也使得 ROI 区域中更多的节点在 LIS 链表中以集合的形式进行编码,降低了对 ROI 区域的分类排序中冗余比特的输出频率,增强了算法在低码率下的压缩性能。

### 2.3 以小波子带为单位的量化方法

在以 SPIHT 为基础算法的 ROI 编码中,量化时使用的是统一的阈值,但在不同的小波子带中,小波系数绝对值的范围是有差别的。如表 2 所示,以经过 3 级 5/3 小波分解的 Lena、Peppers 和 Boat 为例(大小是  $512 \times 512$ ),  $LL_3$  子带中小波系数绝对值的极大值最大,其他 3 个子带中系数的极大值相对较小,且不一定都处在同一量化区间上。因此若对每个子带中的 ROI 系数都从  $LL_3$  子带对应的阈值开始量化,其他的高频子带中的 ROI 节点在编码时必然会产生很多冗余,也延长了量化的时间。

针对这一问题,根据各个子带中系数绝对值的范围,本文提出了对系数进行以小波子带为单位的量化方法。该方法没有改变 SPIHT 算法的排序过程,只是在对每个子带的 ROI 系数或含有 ROI 系数的集合进行排序时加入了一个判别条件:小波子带  $l$  中系数绝对值的最大值  $C_{\max}(l)$  是否大于或等于当前的量化阈值  $T$ 。如果  $C_{\max}(l) \geq T$ ,则对子带  $l$  中 ROI 系数或含有 ROI 系数的集合进行分类扫描处理;否则说明子带  $l$  中的 ROI 系数在当前阈值  $T$  下输出的都是冗余比特且会白白地消耗大量的扫描时间,因此不作任何处理。

表 2 各频带小波系数绝对值极大值比较

Tab. 2 Comparison of ultimate coefficients among different subbands

图片名字	$LL_3$	$HL_3$	$HH_2$	$LH_1$
Lena	289	123	176	78
Peppers	259	131	140	99
Boat	279	165	148	107

需要注意的是,在新的结构下由于 4 个虚拟

子带同处于最高级的低频子带上,因此在对虚拟子带进行量化时采用最大的量化阈值来进行处理。此外,所有子带中系数绝对值的最大值是以小波子带为单位的量化方法的关键参数,必须将这些系数写入码流以保证解码端能够准确地解码图像。

### 2.4 PROI 掩模的生成

PROI 掩模是文献[16]针对具有父子关系的节点在 ROI 编码时存在的冗余而提出的,它通过对后代中有 ROI 系数的节点进行标记,不仅优化了 ROI 掩模的标记条件,提高了低码率下算法的编码效率,而且也减少了 LIS 中冗余比特的输出。

由于本文算法是在掩模的基础上对 ROI 系数进行编码的而且改进的空间方向树结构并没有改变原结构中父子关系的判别方式,因此文献[16]提出的 PROI 掩模及其生成方式在该算法中仍然有效。但是,由于新的空间树结构加入了 4 个虚拟子带,相当于在原来  $LL_n$  子带上又进行了一次小波变换,因此,在计算 PROI 掩模时应该求解到  $n+1$  级。

### 2.5 熵编码

为了进一步降低 ROI 掩模的统计冗余和编码后数据中的其他冗余,使用无损的 Huffman 编码对上述数据作进一步的压缩。

### 2.6 低码率下任意形状 ROI 编码算法的编码流程

基于前面几节介绍的相关技术,给出了低码率下任意形状 ROI 编码算法的编码流程:

(1)在原始图像上标记出 ROI 区域;利用回溯法求出子带  $LL_1$  中的掩模,并将其写入码流;

(2)利用子带  $LL_1$  中掩模扩展出整个小波域上的掩模,并求出新的空间树结构下的 PROI 掩模;

(3)将新的空间树结构和改进后的量化方法引入 SPIHT 算法的分类扫描中,将各子带中系数绝对值的最大值写入码流,并对 PROI 掩模和 ROI 掩模标记的 ROI 系数进行编码;

(4)利用文献[18]的方法来估计在不同编码码率下 ROI 重建质量,并得出 ROI 中的 PSNR 值达到事先设置的阈值  $P$  所用的码率  $R_0$ ;在算法的编码码率达到  $R_0$  后,对 ROI 系数中未编码的位平面和 BG 系数以位平面为单位进行编码;在

所有 ROI 系数编码完成之后,对未编码的位平面中 ROI 掩模指示的 BG 系数进行精确编码,直至达到用户的要求。

(5)利用 Huffman 对编码后的数据进行熵编码。

解码是编码的逆过程,无需其他的操作即可获得解码图像。

### 3 实验结果与讨论

为了验证本文 ROI 掩模生成方法的有效性,在 Lena、Barb、Boat 和 Gold-hill 中任意选择了几个形状不规则的 ROI(如图 4 中白线所包含的区域),在 5 级 5/3 小波变换下将本文方法和回溯法对 ROI 掩模的编码性能进行了比较(如表 3 所示)。



(a)含有一个 ROI 的 Lena 图 (b)含有多个 ROI 的 Barb 图  
(a) Lena image with ROI (b) Barb image with ROIs



(c)含有一个 ROI 的 Boat 图 (d)含有多个 ROI 的 Gold-hill 图  
(c) Boat image with ROI (d) Gold-hill with ROIs

图 4 带有 ROI 区域的原始图像  
Fig. 4 Original images with ROIs

表 3 中的数据表明,本文的方法对图 4 的标准图像中任意形状 ROI 掩模的编码率不到 0.04 bit/pixel,相当于原始图像的 0.5%,而且所用的编码比特分别是本文方法熵编码前、回溯法熵编码后和回溯法熵编码前 16%、28%和 4%。因此,所提出编码思路解决了回溯法和衍生法中存在的附加码流大的问题。

表 3 本文方法与回溯法的掩模编码性能比较

Tab. 3 Performance comparison of ROI mask between proposed method and backtracking method (bit/pixel)

图片名字	本文方法的编码码率		回溯法的编码码率	
	熵编码前	熵编码后	熵编码前	熵编码后
Lena	0.25	0.032	1.0	0.125
Barb	0.25	0.039	1.0	0.151
Boat	0.25	0.033	1.0	0.131
Hill	0.25	0.037	1.0	0.155

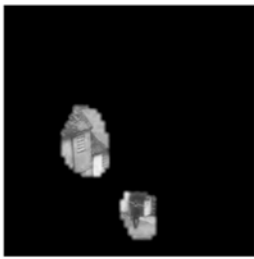
ROI 的重建质量是低码率下任意形状 ROI 编码的重要关注点,为此,在 3 级 5/3 小波变换下对图 4 中的所有图像(白线所包含的区域是 ROI 区域)进行实验,其中,设定当 ROI 的 PSNR 值达到 30 时,开始对 BG 进行编码。鉴于篇幅所限,图 5 仅展示了图 4 中 Lena 和 Gold-hill 从低码率到高码率(包含掩模的码率)的渐变过程。可以看出,该算法支持多个任意形状的 ROI 编码,在低码率时,ROI 中的图像可以获得较高的图像质量,而用户不关心的背景区域的图像质量相对较低。



(a) 0.127 2 bit/pixel 下的 Lena 图 (b) 0.164 7 bit/pixel 下的 Lena 图  
(a) Lena image at 0.127 2 bit/pixel (b) Lena image at 0.164 7 bit/pixel



(c) 0.294 3 bit/pixel 下的 Lena 图 (d) 0.506 5 bit/pixel 下的 Lena 图  
(c) Lena image at 0.294 3 bit/pixel (d) Lena image at 0.506 5 bit/pixel



(e) 0.127 5 bit/pixel 下的 Hill 图

(f) 0.178 3 bit/pixel 下的 Hill 图

(e) Hill image at 0.127 5 bit/pixel

(f) Hill image at 0.178 3 bit/pixel



(g) 0.353 1 bit/pixel 下的 Hill 图

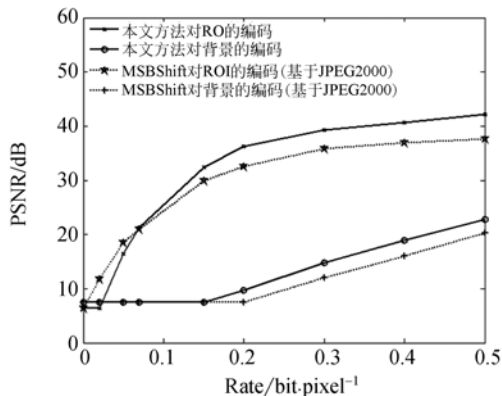
(h) 0.512 8 bit/pixel 下的 Hill 图

(g) Hill image at 0.353 1 bit/pixel

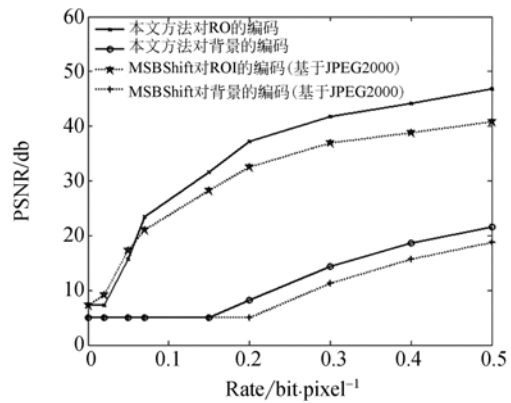
(h) Hill image at 0.512 8 bit/pixel

图 5 Lena 和 Gold-hill 图像从低码率到高码率的编码效果  
Fig. 5 Lena and Gold-hill images by ROI encoding from low bit rate to high bit rate

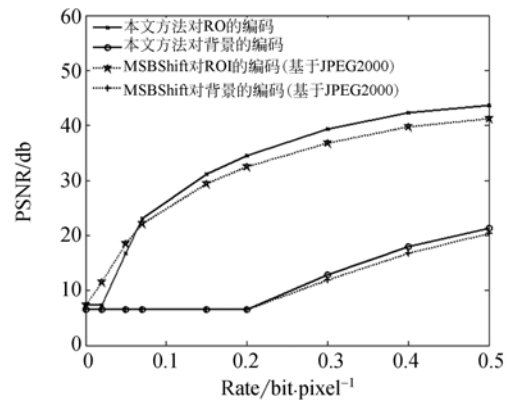
算法的压缩性能是评价编码算法最重要的指标,因此,对 Lena、Boat、Barb 和 Gold-hill 统计在不同码率(总码率小于 0.5 bit/pixel)下 ROI 和 BG 的峰值信噪比,并与目前最新的位平面提升方式 MSBShift<sup>[6]</sup>方法相比较,得到了图 6 中的 4



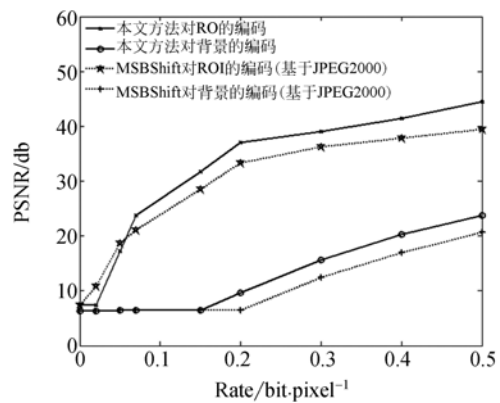
(a) Lena 图的对比曲线  
(a) Comparison curves of Lena



(b) Boat 图的对比曲线  
(b) Comparison curves of Boat



(c) Barb 图的对比曲线  
(c) Comparison curves of Barb



(d) Gold-hill 图的对比曲线  
(d) Comparison curves of Gold-hill

图 6 本文算法与基于 JPEG2000 的 MSBShift 在 ROI 与背景区域的 PSNR 比较

Fig. 6 Comparison between proposed coder and MSBShift method based on JPEG2000 in PSNRs of ROI and background

个曲线图。其中,MSBShift是以JPEG2000作为算法基础的。为使对比更具针对性和准确性,根据以上两种方法的特点,将本文方法所用的ROI的PSNR阈值设置为35,而MSBShift则对ROI处于 $HL_1$ 、 $LH_1$ 和 $HH_1$ 子带系数不做平移以保证使用以上两种方法在对BG开始编码时ROI中的重建图像具有相近图像质量。

从图6中用于描述ROI区域编码性能的曲线可以看出,在码率小于0.06 bit/pixel的情况下,本文算法在ROI图像上的PSNR值低于基于JPEG2000算法的MSBShift方法,原因是在极低的码率下,用本文方法生成的码流中主要包含的是ROI掩模的信息,而ROI的图像信息包含的并不多。但这不影响本文算法的应用效果,因为在码率小于0.06 bit/pixel的情况下,利用MSBShift方法重建的ROI的图像质量较低,它们的PSNR值均小于20,因此在很多场合不具有应用价值。当码率达到0.06 bit/pixel之后,随着码率的增加,利用本文算法重建的ROI的图像质量明显的优于MSBShift方法,表现为其重建的ROI区域的PSNR值比MSBShift方法提高了2~7 dB。这是由于MSBShift在进行位平面偏移的时候,人为地增加了位平面的数量,这些增加出来的位平面在JPEG2000编码时会占用一定的码率,影响了ROI重建质量的提高。

从图6中用于描述背景区域编码性能的曲线来看,由于ROI区域的编码优先级较高,因此在其PSNR值达到35之前,背景区域的PSNR值一直是保持不变的;在ROI的PSNR值达到规定的阈值之后,本文方法在背景区域的PSNR值也高于MSBShift方法。这是由于本文方法以较低的码率先完成了对ROI的优先处理并开始了背景区域的编码,而在同样的码率下,MSBShift方法还没完成ROI的编码,也就没有多余的码率去处理背景区域中的图像信息。

较快的执行速度是一个性能较好的算法应具备的重要指标,也是本文选择以SPIHT算法为基础算法的主要原因。因此,在I3 3.2G、内存4G的计算机上,将本文算法与基于JPEG2000的MSBShift方法对图4中的图像在不同码率下的编码时间(不包括小波变换时间)进行了对比,如表4所示。

表4 两种方法的执行时间对比

图号	编码方法	不同比特率下的处理时间/ms			
		0.2 bit/ pixel	0.3 bit/ pixel	0.4 bit/ pixel	0.5 bit/ pixel
Fig. 4(a)	本文方法	31	47	63	72
	JPEG2000	46	70	92	109
Fig. 4(b)	本文方法	38	54	70	87
	JPEG2000	56	79	101	120
Fig. 4(c)	本文方法	27	40	55	61
	JPEG2000	39	59	80	94
Fig. 4(d)	本文方法	31	45	59	68
	JPEG2000	49	66	86	109

从表4中可以看出,在码率小于0.5 bit/pixel时,本文方法对图4中所有图像的编码速度均高于JPEG2000算法30%以上。由此可见,相对于JPEG2000算法而言,SPIHT算法结构简单,压缩速度快的优势得到了充分的发挥,同时本文对SPIHT算法空间结构树的改进和对ROI的精确编码也在一定程度上减少了时间的开销。相比而言,基于JPEG2000算法的MSBShift方法由于位平面的提升加大了需要编码的比特位数量,进而也增加了JPEG2000算法的编码时间。

以上实验表明,本文算法以非常少的码率描述出了ROI的掩模信息,实现了对ROI系数和BG系数的精确编码,并支持多个任意形状的ROI编码,ROI相对于BG优先级可调,相对于MSBShift方法具有较高的编码效率。同时,由于采用了结构简单的SPIHT算法为基础算法并对其进行了改进,因此与JPEG2000算法相比,本文算法在执行速度上有着明显的优势。

## 5 结 论

本文从掩模的角度出发,结合改进的SPIHT算法给出了一种适用于低码率的任意形状ROI编码方法。所提出的方法不仅解决了ROI掩模附加码流大的问题,而且利用改进的空间方向树结构和以小波子带为单位的量化策略提高了低码率下ROI的重建质量,改善了算法的实时性能。实验结果表明,本文方法在不到0.04 bit/pixel的码率下描述出了整个小波域上的掩模信息,并在码率小于0.5 bit/pixel时,ROI和BG的PSNR



值比基于 JPEG2000 的 MSBShift 方法提高了 2~7 db, 编码时间缩短了 30% 以上, 基本满足了低码率下图像编码的要求。另外, 该算法中的掩模生成方法从掩模的角度为任意形状的 ROI 编码方法提供了一个处理思路, 可以用很少的码率

描述出整幅图像的掩模信息, 打破了过去只能通过位平面平移这一方式来实现任意形状 ROI 编码的局限, 同时由于它能以较少的码率描述出整幅图像的掩模信息, 因此, 可以在此基础上开发各种满足不同应用需求的任意形状 ROI 编码方法。

#### 参考文献:

- [1] 隋玉萍, 何昕, 魏仲慧. ROI 的海洋监测卫星遥感图像压缩算法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(7):1223-1229.
- SUI Y P, HE X, WEI Z H. A compression algorithm of remote sensing image based on ROI for ocean surveillance satellite [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(7):1223-1229. (in Chinese)
- [2] JOAN B R, JOAN S S, FRANCESC A L. JPEG2000 ROI coding through component priority for digital mammography [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2011, 115(1):59-68.
- [3] 徐勇, 徐智勇, 张启衡. 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[J]. 光学精密工程, 2011, 19(1):175-181.
- XU Y, XU Z Y, ZHANG Q H. Arbitrary shaped ROI image coding using Run-length coding and generalized Exp-Golomb coding [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(1):175-181. (in Chinese)
- [4] PABLO G T, J. R V, MAIA J L, *et al.*. Image compression: maxshift ROI encoding options in JPEG2000 [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2008, 109(2):139-145.
- [5] ZHANG Y, GU H M. Region of interest image coding based on perceptually optimized bitplane realignment [C]. 2009 *International Conference on Electronic Computer Technology*, Macau, P. R. China; IEEE, 2009:495-498.
- [6] 张立保, 余先川. 基于多子带位平面偏移的遥感图像感兴趣编码[J]. 光学学报, 2009, 29(12):189-192.
- ZHANG L B, YU X C. Region of interest coding of remote sensing image based on multiple subband bitplane shift [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(12):189-192. (in Chinese)
- [7] JOAN B R, JOAN S S, FRANCESC A L. JPEG2000 ROI coding with fine-grain accuracy though rate-distortion optimization techniques [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2009, 16(1):45-48.
- [8] OSCAL T C, CHEN C C. Automatically-determined region of interest in JPEG2000 [J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2007, 9(7):1333-1344.
- [9] PUJA B, SAVITA G, RAJKUMARI B. Comparative analysis of image compression techniques: a case study on medical images [C]. 2009 *International Conferences on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing*, Kottayam, India; IEEE, 2009:820-822.
- [10] 李靖, 杨帆, 吴涛. 基于背景位平面向低位位移的 ROI 压缩算法研究[J]. 光电子·激光, 2010, 21(2):307-311.
- LI J, YANG F, WU T. The research of the ROI compression algorithm based on the shift background toward the lower bit-plane [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2010, 21(2):307-311. (in Chinese)
- [11] 王晓东, 刘文耀, 朱昊, 等. 无链表 SPIHT 图像提升小波编码的硬件算法[J]. 西南交通大学学报, 2005, 40(4):492-495.
- WANG X D, LIU W Y, ZHU H, *et al.*. Listless SPIHT image coding hardware algorithm based on lifting wavelet [J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2005, 40(4):492-495. (in Chinese)
- [12] IMAD Z, IKHIAS A Q, HAZEM A O. Embedded ROI coding of mammograms via combined SPIHT and integer wavelet transforms [C]. 2007 *IEEE International Conference on Electro/Information Technology*, Chicago IL, U. S. A.; IEEE, 2007:173-177.
- [13] HU M, ZHANG C J, LU J, *et al.*. A multi-ROIs medical image compression algorithm with edge feature preserving [C]. *Proceedings 2008 3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering*, Xiamen, P. R. China; IEEE, 2008:1075-1080.
- [14] GALAN J C, ALARCON A V, STAROSTENKO O, *et al.*. Foveated ROI compression with hierarchical trees for real-time video transmission [C]. *The 3rd Mexican Conference on Pattern Recognition*, Cancun, Mexico; Springer, 2011:240-249.

- [15] CHEN X L, ZHANG A H, YANG X Z. Multiple description coding for protecting regions of interest in images [C]. 2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing, Yantai, P. R. China; IEEE, 2010:544-547.
- [16] PARK K H, PARK H W. Region of interest coding based on set partitioning in hierarchical trees [J]. IEEE Transactions On Circuits and Systems For Video Technology, 2002, 12(2):106-112.
- [17] 李晓梅. 基于小波变换的医学图像压缩技术的研究[D]. 济南:山东大学,2009.
- LI X M. Research on medical image compression techniques based on wavelet transform [D]. Jinan:University of Shandong, 2009. (in Chinese)
- [18] 徐平,朱善安. 基于 ISA-DWT 的多个任意形状感兴趣区域编码框架[J]. 中国图象图形学报,2006, 11(10):1426-1430.
- XU P, ZHU S A. Multiple arbitrary shape ROIs coding framework using ISA-DWT [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11 (10): 1426-1430. (in Chinese)

## 作者简介:



杨 晓(1984—),男,河北衡水人,博士研究生,2006年、2009年于中北大学分别获得学士、硕士学位,主要研究方向为图像压缩技术。E-mail: yangxiaol405@163.com



叶声华(1934—),男,湖北沙市人,教授,博士生导师,院士,1956年与华中科技大学获得学士学位,1962年于天津大学获得硕士学位,主要从事激光及光电测量技术方面的研究。E-mail: shhuaye@tju.edu.cn

## 导师简介:



杨学友(1949—),男,江西南昌人,教授,博士生导师,1981年、1984年于天津大学分别获得学士、硕士学位,主要从事高速图像处理和视觉检测技术方面的研究。E-mail: xuexyou@tju.edu.cn

## ●下期预告

## 三线阵立体测绘相机时间系统优化与实时检测

武星星,刘金国

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

为了提高三线阵立体测绘相机的相机时间同步精度,在对相机时间系统工作原理进行分析的基础上,建立了三线阵立体测绘相机的相机时间同步误差模型,并根据该模型采取缩短行同步计数器查询周期等多项措施对相机时间系统进行优化。针对相机时间同步误差在摄影过程中会随相机控制器工作时段变化这一现象,提出了一种相机时间同步精度的实时检测方法。该方法可实时检测并全程记录摄影过程中相机时间同步误差的动态变化,解决了常规仪器由于存储深度不足而无法长期检测这一难题。利用该方法对优化后的三线阵的立体测绘相机时间系统的时间同步精度进行检测,实验结果表明,摄影过程中三线阵立体测绘相机的时间同步误差 $\leq 74.8 \mu\text{s}$ ,相机时间同步误差绝对值 $\leq 11.2 \mu\text{s}$ 的概率不低于0.95,满足技术指标要求。