

文章编号: 1004-4213(2010)02-0340-6

基于二进制小波变换和改进 SPIHT 算法的 图像编码方法*

李晓兵, 潘泓, 夏良正

(东南大学 自动化学院, 南京 210096)

摘要:提出了一种基于二进制小波变换和改进 SPIHT 算法的图像编码方法. 二进制小波变换将图像从实数域变换到实数域, 消除像素之间的空间冗余性, 得到了具有整数准确度的紧致描述. 针对传统 SPIHT 算法解码图像视觉效果差的缺点, 提出了改进方法. 根据图像分析结果, 将二进制小波变换变换系数按视觉重要性重新排序, 通过对视觉重要系数优先编码, 把量化误差集中在视觉不敏感区域, 从而在不影响编码率失真性能的同时, 有效地提高了解码图像的视觉效果. 实验结果表明, 和其它流行的编码算法相比, 本文算法对不同性质的图像具有最优的编码性能和视觉效果.

关键词:图像处理; 二进制小波变换; 视觉编码; SPIHT 算法

中图分类号: TP391

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20103902.0340

0 引言

近年来, 小波变换在图像和视频编码中得到了广泛应用^[1-6], 小波编码器的最大特点是能够在不同尺度下描述图像和视频信号, 可以得到具有渐进传输特性的嵌入式码流. 常用的小波变换是在实数域中进行, 输入信号和变换结果都是实函数. 在实际应用中, 图像的灰度值可以用有限位整数表示, 如 256 色灰度图像的灰度值可用 $[0, 255]$ 的 8 位整数表示. 而基于小波变换的图像编码算法大多采用实数小波变换 (Real Wavelet Transform, RWT), RWT 扩展了小波系数的幅值范围, 使小波系数幅值远远超出原始图像灰度的取值范围, 因而不能很好地反映图像本身的特性, 也不能获得最佳的编码性能. 为此, 人们将小波变换从实数域扩展到有限域, 并提出了各种有限域小波变换^[7-11]. Calderbank 等人^[7]提出了整数小波变换 (Integer Wavelet Transform, IWT), 将整数信号通过 IWT 映射得到整数小波变换系数, 并将 IWT 引入无损图像编码应用中. 但 IWT 依然存在变换系数幅值扩展的问题. Swanson 和 Tawfik^[8]针对二值图像应用提出了二进制小波变换 (Binary Wavelet Transform, BWT). Law 和 Siu^[9]完善了设计二进制小波变换滤波器的约束条件. PAN Hong 等人^[10]将 BWT 推广到灰度图像的无损编码, 扩大了 BWT 的应用范围. 和 RWT 相

比, 由于输入信号和中间结果都是二值数据, BWT 不会引入量化误差, 而且变换系数取值范围和输入信号取值范围完全相同. 此外变换中的所有运算可以用“异或”实现, 因此变换速度得到极大提高. 另一方面, SPIHT 算法^[2]因其优越的率失真编码性能, 成为公认的小波变换编码代表算法之一. 然而, SPIHT 算法并未考虑人眼视觉系统 (Human Visual System, HVS) 特性, 因此, 其解码图像的主观视觉效果有待提高.

本文将 BWT 从二值图像推广到灰度图像, 针对 SPIHT 算法主观视觉效果较差的缺点, 对其进行改进, 提出了一种基于 BWT 和改进 SPIHT 算法的图像编码方法. 该方法首先对图像进行分块分析, 根据分析结果, 将 BWT 变换系数按视觉重要性重新排序. 通过对视觉重要系数优先编码, 把量化误差集中到视觉不敏感区域, 从而在不降低编码率失真性能的同时, 有效提高了解码图像的视觉效果.

1 二进制小波变换

1.1 数学描述

离散二进制小波变换^[8]过程和离散实数小波变换相似, 但输入信号和变换结果都是二值信号. 离散二进制小波变换的数学模型可描述如下, 若 x 表示待变换的 N 维输入二值序列, T 是 $N \times N$ 维的变换矩阵, 则离散二进制小波变换的输出结果 y 可由循环卷积计算得到, 并可表示为

$$y = \begin{bmatrix} C \\ D \end{bmatrix} x \quad (1)$$

* 国家自然科学基金(60805002)资助

Tel: 025-84209136

Email: liOctober@126.com

收稿日期: 2008-10-07

修回日期: 2008-12-19

$$\begin{aligned} C &= (c|_{s=0}, c|_{s=2}, \dots, c|_{s=N-2})^T; \\ D &= (d|_{s=0}, d|_{s=2}, \dots, d|_{s=N-2})^T \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} c &= \{c_0, c_1, \dots, c_{N-2}, c_{N-1}\}^T; \\ d &= \{d_0, d_1, \dots, d_{N-2}, d_{N-1}\}^T \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $N \times N$ 维变换矩阵 T 由尺度函数系数和小波函数系数组成, $a|_{s=k}$ 表示由序列 a 中元素循环右移 k 位后得到的向量, c_i 和 d_i 分别代表尺度函数系数和小波函数系数。

为了使二进制小波变换能实现对信号的多尺度分解并能重构出原始信号, BWT 中的低通滤波器和带通滤波器必须满足四个基本约束条件^[8-9], 即带宽约束、消失矩约束、完备重构约束和垂直约束。带宽约束条件保证了尺度函数的低通滤波特性和小波函数的带通滤波特性。完备重构约束保障了信号可以通过逆变换无失真地重构得到。在二值域中, 该约束条件可转换为变换矩阵 T 的行列式值等于 1。消失矩约束条件反映了滤波器描述缓变信号的紧凑能力。为了使小波函数具有带通滤波特性, 其消失矩阶数必须大于 1。同时, 对于长度为 N 的信号, 小波函数最多具有 $N/2$ 阶消失矩。垂直约束条件^[9]保证了逆变换中滤波器系数形式的一致性。

二进制小波变换的滤波器设计需要综合考虑上述四个基本约束条件。文献^[9]给出了满足这些约束条件的 32 对长度为 8 的二值滤波器组, 根据低通滤波器系数中‘1’的个数, 将这些滤波器组分成 4 类列于表 1 中。

表 1 长度为 8 的二值滤波器组

Table 1 Bi-value filter grouping for filter length being equal to 8

Group	Analysis filter		Synthesis filter	
	Lowpass	Bandpass	Lowpass	Bandpass
1	{0,1,0,0,0,0,0,0}	{1,1,0,0,0,0,0,0}	{1,1,0,0,0,0,0,0}	{1,0,0,0,0,0,0,0}
2	{1,1,1,0,0,0,0,0}	{1,1,0,0,0,0,0,0}	{0,0,1,1,0,0,0,0}	{0,1,1,1,0,0,0,0}
3	{1,1,1,1,0,0,0,1}	{1,1,0,0,0,0,0,0}	{0,0,0,0,0,0,1,1}	{1,0,0,0,1,1,1,1}
4	{1,1,1,1,1,1,1,0}	{1,1,0,0,0,0,0,0}	{0,0,0,0,0,0,1,1}	{0,1,1,1,1,1,1,1}

1.2 灰度图像的二进制小波变换

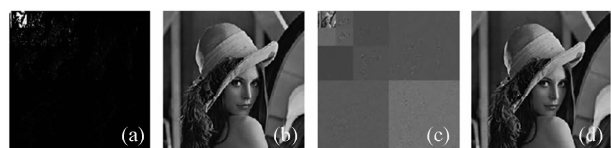
BWT 最初是针对二值信号提出的, 对于具有连续色调的灰度图像必须将其分解成一系列二值图像才能使用。为此, 我们采用位平面分解方法, 把一幅 K 位的灰度图像分解成 K 个二值位平面图像, 并对每个二值位平面图像进行二进制小波变换。图 1 显示了 256 色灰度图像‘Lena’的二进制小波变换和逆变换的结果, BWT 采用了表 1 中的第 1 类二值滤波器。作为比较, 图 2 给出了对相同‘Lena’图

像进行 RWT、IWT 和其逆变换结果。实验中使用的 RWT 核函数及 IWT 核函数分别是双正交 9/7 小波和双正交 5/3 小波。由图 1 结果可见, 256 色灰度图像的 BWT 系数范围仍保持在 $[0, 255]$, 小波域中大系数对应了图像中的高频突变部分, 而低频平滑部分对应的小波系数大多为零或接近于零。RWT 和 IWT 都不同程度地扩展了图像小波系数的范围, 其中, RWT 系数位于 $(-627.3, 1967.8)$ 之间, IWT 系数位于 $[-191, 264]$ 之间。显然 RWT 和 IWT 产生的变换系数扩展问题会潜在地影响图像编码算法的效率。



(a) Original image (b) BWT image (c) inverse BWT image

图 1 256 色灰度图像的二进制小波变换及逆变换图像
Fig. 1 Binary wavelet transformed image and inverse transformed image of a 256-grayscale image



(a) Real-wavelet transformed image using 9/7 kernel
(b) Inverse real-transformed image using 9/7 kernel
(c) Integer-wavelet transformed image using 5/3 kernel
(d) Inverse integer-transformed image using 5/3 kernel

图 2 256 色灰度图像的实数小波变换、整数小波变换及逆变换图像

Fig. 2 Real-wavelet transformed/inverse transformed image and integer-wavelet transformed/inverse transformed image using 9/7 kernel and 5/3 kernel, respectively

2 改进的 SPIHT 编码算法

SPIHT 算法在编码过程中采用均方误差作为准则函数, 得到的输出码流具有最优率失真性能。然而, 均方误差函数只是对视觉失真度的近似逼近, 不能充分体现人眼视觉特性, 因此 SPIHT 解码图像虽然具有较高峰值信噪比, 但视觉效果并不理想。为了提高 SPIHT 算法的视觉效果, 需要按视觉重要性对所有变换系数进行扫描、量化和重新排序, 使编码器优先输出对视觉效果影响最大的系数。对系数进行视觉重要性排序时, 我们将图像分割成若干子块, 根据每个子块内像素灰度的统计特征将子块分成平滑区域、边缘区域和纹理区域中的一种。对每个分类好的子块分别赋予相应的视觉加权系数进行量化, 使影响视觉效果作用较大的系数被突出, 而解码图像的视觉失真主要集中在人眼视觉不敏感的

区域.

视觉心理学研究表明^[12],根据 HVS 感知重要性的不同,可以将图像中的像素分成三种类型,分别对应边缘区域、平滑区域和纹理区域.这三种区域对人眼感知图像内容所起作用各不相同,其中 HVS 对边缘区域失真最为敏感,相反,却可以“容忍”较大的纹理区域失真.因此,只要有效识别出每个像素所属区域,对边缘区域和平滑区域的像素进行较为细致的量化就可以有效提高解码图像的视觉效果.

2.1 子块的区域分类

由二进制小波变换特性可知,平滑区域的高频 BWT 系数大多接近零且幅值随分解尺度增加迅速减小,而纹理和边缘区域的高频 BWT 系数幅值在不同分解尺度下衰减缓慢.图像边缘引起的高频大幅值 BWT 系数存在于所有尺度层次中,相邻尺度间的 BWT 系数具有较强相关性,而纹理区域对应的高频 BWT 系数具有一定随机性,且不同尺度下 BWT 系数的关联性较弱.因此,通过分析某个区域多尺度下高频 BWT 系数幅值的变化情况和相关性,可以判断该区域所属的类别.首先,我们将图像分割成若干 $N \times N$ 子块,并对整个图像进行二进制小波变换.对每个子块分解得到的 HL 和 LH 子带,分别计算其标准差 σ ,并按式(4)对各尺度下 HL 和 LH 子带进行二值化处理.

$$\begin{cases} |\text{BWT}(i,j)| \geq \sigma & \text{BWT}(i,j)=1 \\ |\text{BWT}(i,j)| < \sigma & \text{BWT}(i,j)=0 \end{cases} \quad (4)$$

式中, $\text{BWT}(i,j)$ 为点 (i,j) 的二进制小波变换值.对每个子块,计算其各尺度下所有二值化 HL、LH 子带方差的平均值 μ ,由式(5)确定相应子块的区域类型.

$$\begin{cases} \mu < T_l \Rightarrow \text{平滑区域} \\ T_l \leq \mu \leq T_h \Rightarrow \text{边缘区域} \\ \mu > T_h \Rightarrow \text{纹理区域} \end{cases} \quad (5)$$

式中, T_l 和 T_h 分别为阈值上下界.从 μ 定义可见,该变量是反映多尺度下具有较强相关性的大幅值高频 BWT 系数的统计量.在上述分类过程中,子块大小 N 、阈值上下界 T_l 和 T_h 需要事先确定.子块大小与图像分解尺度有关,若图像分解尺度数为 L ,则本文中子块大小取为 $2^L \times 2^L$.比较 μ 和阈值下界 T_l 可以判断子块的平滑性,通过对大量图像的计算发现 T_l 的取值与图像内容无关,本文中取 $T_l = 0.05$.阈值上界 T_h 与各尺度下 LH、HL 子带系数分布有关,而高频 BWT 系数可用式(6)的广义高斯模型描述

$$\text{BWT}(i,j) = \gamma \alpha^{|i|+|j|}, \alpha = l^{-\lambda} \quad (6)$$

式中, α 为广义高斯模型参量, λ 控制高斯函数衰减

速度, γ 为归一化系数.不同 LH 和 HL 子带对应不同的参量 α ,因此,将 T_h 表示为 α 均值的线性函数

$$T_h = k\alpha_{\text{avg}} + l \quad (7)$$

式中 α_{avg} 表示各尺度下所有 LH 和 HL 子带中参量 α 的均值, k 和 l 取值与子块大小有关,本文中取 $k = -0.24$, $l = 0.37$ (对应于 32×32 子块).

2.2 视觉量化

为了提高解码图像的视觉效果,将 HVS 特性融入到 SPIHT 算法中,根据像素所在区域类型赋予相应的加权系数进行视觉量化,并对加权后的系数按视觉重要性重新扫描排序,使对提升视觉效果影响最大的像素被优先编码输出.视觉心理学研究认为^[12],HVS 对图像中平滑、边缘和纹理三种区域产生的反应各不相同.在人眼感知图像内容时,边缘像素起了非常重要的作用,而平滑区域和纹理区域的像素所起作用并不突出.相反,人眼对纹理区域的噪音和失真并不敏感.因此,可以针对 HVS 对不同区域视觉敏感性特点,根据下面 3 条准则设计加权系数进行视觉量化,以突出“视觉重要”的像素:1)视觉加权应强调边缘信息以方便人眼更快速识别图像内容;2)视觉加权可通过削弱纹理信息,将编码失真尽可能集中到视觉不敏感的纹理区域;3)在满足前两条准则的基础上,尽量减小平滑区域的编码失真.

为了方便对各种性质图像进行视觉加权,将图像分成以下三类,第一类:以平滑区域为主的图像;第二类:包含大量边缘区域的图像;第三类:以纹理区域为主的图像.表 2 给出了这三种类型的代表图像和图像中三种区域所占比例.在进行视觉加权时,需要综合考虑待编码图像类型和上述 3 条准则.表 3 列出了本文所采用的加权系数.需要说明的是,这些系数并非针对实验中所用图像设计的,而是通过大量各种类型的训练图像而得.

表 2 三类代表图像和三种区域所占比例
Table 2 Tree types of representative images and the proportion of three kinds of regions

Region	Type 1		Type 2		Type 3	
	Lena	Peppers	Barbara	Couple	Mandrill	Aerial
Smooth Region	48.6%	48.6%	34.5%	27.3%	20.6%	18.3%
Edge Region	43.9%	47.9%	55.7%	54.2%	29.9%	30.8%
Texture Region	7.5%	3.5%	9.8%	18.5%	49.4%	50.9%

表 3 本文采用的视觉加权系数
Table 3 The visual weighting factors in this paper

Region	Type 1	Type 2	Type 3
Smooth Region	1.8	1.5	1.4
Edge Region	2	2	2
Texture Region	1	1	0.5

3 实验结果和分析

本实验的测试图像来自 JPEG 标准图像,包括

Lena, Barbara, Mandrill, Pepper, Couple 和 Aerial. 其中 Pepper, Couple, Aerial 大小为 256×256 ; Lena, Barbara, Mandrill 大小为 512×512 . 在这些图像中, Lena 和 Pepper 主要由平滑区域组成, 可归为第一类图像; Barbara 和 Couple 包含较多边缘区域, 属于第二类图像; 而 Aerial 和 Mandrill 含有丰富的纹理信息, 可归为第三类图像. 我们对所有测试图像先进行二进制小波变换(采用表 1 中第一类滤波器), 对 BWT 系数采用改进 SPIHT 算法进行视觉加权量化和 SPIHT 编码, 得到输出码流. 解码时, 先进行 SPIHT 解码和视觉反量化, 再进行逆二进制小波变换, 并采用峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR) 衡量编码算法性能.

为了检验本文算法的编码效率, 分别用本文算法、SPIHT 算法和 JPEG-2000 算法^[3] 对测试图像进行编码, 并比较了三种编码算法在低比特率下的率失真性能. 图 3 给出了三种编码器在 $0.05 \sim 0.5$ bpp 时的率失真曲线. 其中, SPIHT 编码器采用了 9/7 小波进行 RWT 和算术编码, 而 JPEG-2000

编码器采用了 5/3 小波进行 IWT. 从实验结果可见, 在低比特率下(比特率 < 0.25 bpp), 本文算法 PSNR 明显优于 SPIHT 算法, 随着比特率的提高, 两种算法的 PSNR 差距逐步减小. 当比特率高于 0.4 bpp 时, SPIHT 平均性能稍占优势. 和 JPEG-2000 相比, 对 Pepper, Couple, Lena 图像, 在所有比特率下, 本文算法 PSNR 都高于 JPEG-2000. 由于本文算法采用 BWT 去除图像空间冗余, 与 RWT、IWT 相比, BWT 保持了图像像素的取值范围, 因此无需编码 BWT 系数的符号信息, 从而极大提高了本文算法的编码效率. 表 4 列出了在 PSNR=30 dB 时, 三种编码算法对 256 色灰度图像 Lena 和 Barbara 的压缩比. 对 Lena 图像, 本文算法压缩比分别是 SPIHT 和 JPEG-2000 的 1.8 倍和 1.97 倍; 对 Barbara 图像, 本文算法压缩比分别比 SPIHT 和 JPEG-2000 提高了 17.7% 和 3.46%. 此外, 本文算法根据视觉重要性对 BWT 系数进行加权量化和重新排序, 在保持率失真性能的同时, 明显改善了解码图像的主观视觉效果. 图 4 给出了三种编码器在

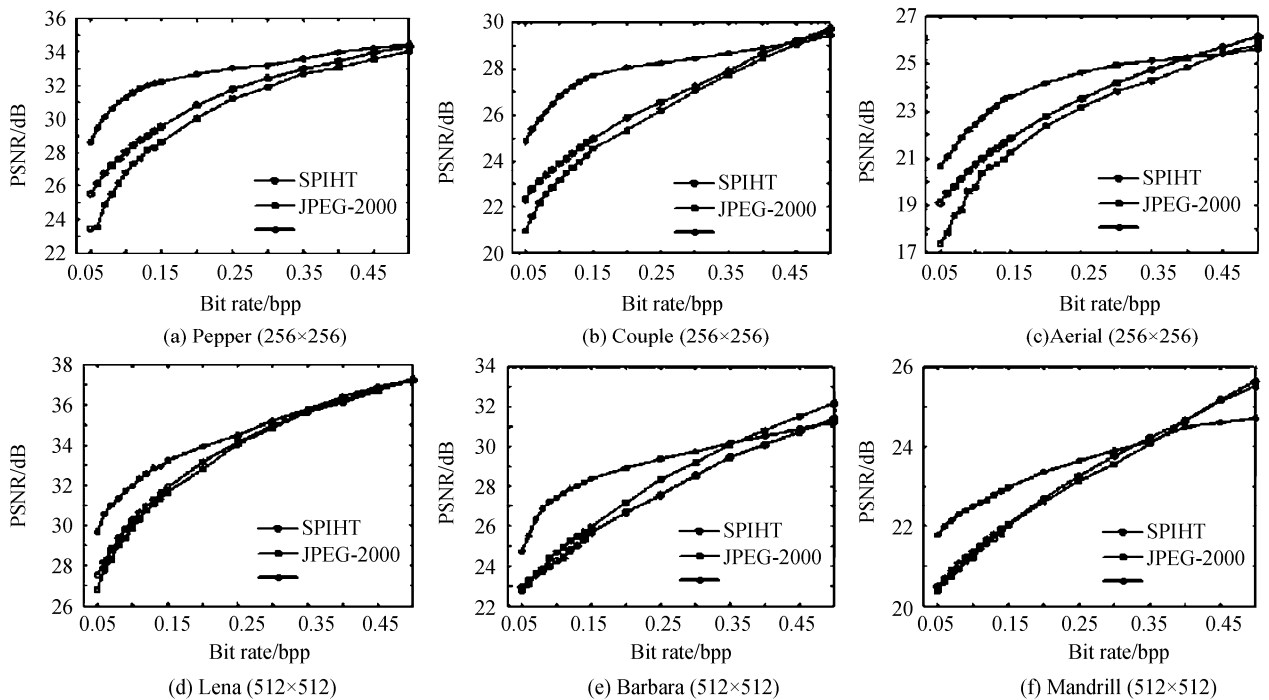


图 3 三种编码器在 $0.05 \sim 0.5$ bpp 时的率失真曲线

Fig. 3 Rate-distortion curves of three coders under bitrates of $0.05 \sim 0.5$ bpp



(a) SPIHT, 0.125bpp, 24.86dB, (b) JPEG-2000, 0.125bpp, 25.24dB, (c) Proposed algorithm, 0.125bpp, 27.95dB

图 4 三种编码器在 0.125 bpp 时对 Barbara 的解码图像
Fig. 4 Decoded images of Barbara from three coders at bitrate of 0.125 bpp

表 4 三种编码器在 PSNR=30 dB 时对 Lena 和 Barbara 的压缩比

Table 4 Compression ratios of lena and barbara from three coders (PSNR=30 dB)

	Lena(512×512)	Barbara(512×512)
Proposed algorithm	0.052 bpp/153.6 : 1	0.335 bpp/23.9 : 1
SPIHT	0.094 bpp/85.3 : 1	0.394 bpp/20.3 : 1
JPEG-2000	0.102 bpp/78.1 : 1	0.346 bpp/23.1 : 1

0.125 bpp 时对 Barbara 图像的解码结果. 由图 4 可

见,本文算法具有最好的主观视觉效果.

为了比较三种编码器的计算复杂度,表5给出了它们在比特率 1.00 bpp 时的编/解码时间.上述时间开销是在 PIII550MHZ + Windows XP 平台中,Visual C++6 环境下得到的.由于 BWT 变换实现时,可采用类似 lifting scheme 的快速算法^[10],因此,本文算法在编/解码上的时间开销是最短的.

表5 三种编码器在 1.00 bpp 时对 Lena 和 Barbara 编/解码的时间开销

Table 5 Time of encoding and decoding for lena and barbara from three coders at bitrate of 1.00 bpp

	Lena(512×512) encoding+decoding	Barbara(512×512) encoding+decoding
Proposed algorithm	275 ms+263 ms	283 ms+266 ms
SPIHT	570 ms+393 ms	587 ms+409 ms
JPEG-2000	1 825 ms+1 199 ms	1 983 ms+1 254 ms

4 结论

针对实数小波变换、整数小波变换系数幅值扩展和 SPIHT 算法没有考虑人眼视觉特性的缺点,本文提出了一种基于二进制小波变换和改进 SPIHT 算法的图像编码方法.以二进制小波变换为代表的有限域小波变换充分考虑了有限位灰度图像本身的特性,不仅能去除图像数据冗余,将图像能量集中在少数变换系数上,而且变换系数可以用有限位整数表示,不会引入量化误差.改进的 SPIHT 算法将人眼视觉特性融入编码过程中,通过对变换系数的视觉加权 and 量化,有效地突出了视觉上重要的像素.实验结果表明,和 SPIHT 算法、JPEG-2000 算法相比,本文算法在不影响编码率失真性能的同时,显著提高了解码图像的主观视觉效果.

参考文献

- [1] YANG Jing-yu, WANG Yao, XU Wen-li, *et al.* Image coding using dual-tree discrete wavelet transform[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2008, **17**(9): 1555-1569.
- [2] SAID A, PEARLMAN W A. A new, fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees[J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, **6**

- (3):243-250.
- [3] JPEG 2000 verification model version 6.0, ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1, Doc. N 1575, Jan., 2000.
- [4] WU Dong-mei, WANG Jun, ZHANG Hai-ning. Research of hyper-spectral image lossless compressing technology based on DPCM between spectra and IWT[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(1):156-159.
- 吴冬梅,王军,张海宁.基于谱间 DPCM 和整数小波变换的超光谱图像无损压缩[J]. *光子学报*, 2008, **37**(1):156-159.
- [5] KONG Fan-qiang, WU Cheng-ke, WANG Ke-yan, *et al.* Compression of interferential multi-spectral image based on motion compensation and rate pre-allocation algorithm[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(6):1162-1166.
- 孔繁强,吴成柯,王柯俨,等.基于运动补偿和码率预分配的干涉多光谱图像压缩算法[J]. *光子学报*, 2007, **36**(6):1162-1166.
- [6] WANG Qi, GUO Lei. Multispectral images compression based on 1+2D wavelet coding[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(9):1126-1129.
- 王琪,郭雷.基于 1+2 维小波变换的多光谱图像压缩[J]. *光子学报*, 2003, **32**(9):1126-1129.
- [7] CALDERBANK A R, DAUBECHIES I, SWELDENS W, *et al.* Wavelet transform that map integers to integers[J]. *Applied and Computational Harmonic Analysis*, 1998, **5**(3):332-369.
- [8] SWANSON M D, TEWFIK A H. A binary wavelet decomposition of binary images[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1996, **5**(12):1637-1650.
- [9] LAW N F, SIU W C. A filter design strategy for binary field wavelet transform using the perpendicular constraint [J]. *Signal Processing*, 2007, **87**(11):2850-2858.
- [10] PAN HONG, SIU W C, LAW N F. Lossless image compression employing binary wavelet transform [J]. *IET Image Process*, 2007, **1**(4):353-362.
- [11] LUO Xin, GUO Lei, YANG Zhu-sheng. Lossless compression of hyperspectral imagery with reversible integer transform [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(8):1457-1462.
- 罗欣,郭雷,杨诸胜.基于可逆整数变换的高光谱图像无损压缩[J]. *光子学报*, 2007, **36**(8):1457-1462.
- [12] RAN X, FARVARDIN N. A perceptually motivated three-component image model-Part I: Description of the model[J]. *IEEE Trans Image Processing*, 1995, **4**(4):401-415.

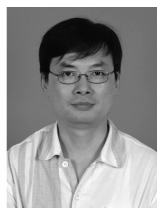
An Image Coding Algorithm Based on Binary Wavelet Transform and Modified SPIHT

LI Xiao-bing, PAN Hong, XIA Liang-zheng

(School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: An image coding algorithm based on binary wavelet transform (BWT) and modified SPIHT was proposed. With the BWT, it eliminates spatial correlation and achieves compact representation of an image with integer precision, by mapping image pixels from real field to real field. Modified approach also presented to improve the poor visual quality of the traditional SPIHT algorithm. In our method, BWT coefficients are reordered according to their perceptual importance. The visually important coefficients are transmitted as early as possible, whereas those compression distortions are distributed in less visual significant regions. In this way, the visual qualities of decoded images are significantly improved without impairing the rate-distortion performance of the encoder. Experimental results show that the proposed algorithm achieves optimal compression performance and visual quality for images with various characteristics, as compared with other popular compression algorithms.

Key words: Image Processing; Binary Wavelet Transform; Perceptual Coding; SPIHT Algorithm



LI Xiao-bing was born in 1967. He received his M. S. degree from Southeast University in 1992. His major research fields focus on the method and applications of automatic target recognition.