

一种联合 Canny 边缘检测和 SPIHT 的图像压缩方法

王亚鸽 康晓东 郭 军 洪 睿 李 博 张秀芳

(天津医科大学医学影像学院 天津 300203)

摘 要 针对 SPIHT 算法重构图像时会损失纹理细节信息的不足,提出了一种联合 Canny 边缘检测和 SPIHT 的图像压缩算法。首先,对图像进行 Canny 边缘检测,对提取的边缘图像进行 Huffman 编码及解码,得到边缘重构图像;其次,用 SPIHT 算法对图像进行编码,并对编码后的码流进行 Huffman 编码及解码,经 SPIHT 算法解码及小波逆变换后得到一幅重构图;最后,将得到的两幅重构图相加加以恢复原图像。结果表明,在低比特率下,所提算法与 SPIHT 结合 Huffman 编码的算法相比,重构图像的 PSNR 值和信息熵有所提高,重构图像的信息量增多。

关键词 图像压缩, SPIHT, Canny 边缘检测, 信息熵

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A

Image Compression Method Combining Canny Edge Detection and SPIHT

WANG Ya-ge KANG Xiao-dong GUO Jun HONG Rui LI Bo ZHANG Xiu-fang

(School of Medical Imaging, Tianjin Medical University, Tianjin 300203, China)

Abstract To solve the problem that the reconstructed images obtained by SPIHT algorithm will lose texture details this paper proposed an image compression algorithm combining Canny edge detection and SPIHT. First, Canny edge detection is performed for the image, the extracted edge map, and edge recombination is obtained; Secondly, SPIHT algorithm is used to encode the image, the encoded code stream is encoded and decoded by using Huffman, and a reconstructed image is obtained after SPIHT algorithm decoding and wavelet inverse transformation. Finally, the two reconstructed images are added to recover the original image. The results show that the PSNR value and information entropy of reconstructed images are improved at low bites per pixel, compared with SPIHT combined with Huffman encode algorithm, and the information amount of reconstructed images is increased.

Keywords Image compression, SPIHT, Canny edge detection, Information entropy

1 引言

图像压缩是图像处理领域的重要研究方向。目前,图像数据压缩的主要方法有小波变换编码、分形编码、神经网络编码和结合多种编码的混合编码方法。小波变换的实质是多分辨率或多尺度地分析信号,以适应人眼视觉分辨率的不均匀性,它非常适合于处理图像信号^[1]。1989 年 Mallat 首次将小波分析技术应用到图像压缩领域^[2],最新的静态图像压缩标准 JPEG2000 就是以小波变换为基础的。1993 年 Shapiro 在小波变换的基础上,提出了嵌入式零树小波编码算法(Embedded Zerotree Wavelet, EZW),并在算法中引入零树结构和嵌入式编码两个重要的概念^[3]。随后,许多学者致力于 EZW 算法的改进,其中最具有代表性的是 Said 和 Pearlman 提出的多级树集合分裂(Set Partitioning in Hierarchical Trees, SPIHT)编码算法^[4]。SPIHT 算法与 EZW 算法相比,虽然压缩性能大大提升,但也存在算法内存需求量大而不易于硬件实现和重构图像纹理细节信息丢失的缺陷。为此,一些学者

提出了一些 SPIHT 的改进算法。文献[5]提出了无链表零树编码(Listless Zerotree Coding, LZC)算法,用两个重要位图 Fc 和 Fd 储存树信息,在编码扫描时用扫描标志位图替代对 3 个有序链表的测试。LZC 算法虽然降低了编码所需的存储空间,但重图像的 PSNR 值比 SPIHT 算法约低 0.51 dB。文献[6]提出了一种基于最小零树结构的无链表量化编码算法,它在文献[5]的基础上添加了一个标志位图 Fx,从而提升了重构图像的 PSNR 值。文献[7]提出一种无链表 SPIHT 改进算法,将最低频子带 LLN 进行虚拟分解,即将小波变换后的 LLN 进行类似于进一步小波变换的划分,认为是经小波变换后得的。与 LZC 算法相比,文献[7]算法占用内存的更少,且 PSNR 值更高。文献[8]提出了一种对图像进行 N 阶提升小波变换和对 1 阶高频子带(HH1 子带、HL1 子带和 LH1 子带)进行 N-1 阶提升小波分解的改进算法,与 SPIHT 算法相比,它更多地保存了高频子带的纹理细节信息,重构图像的 PSNR 值更高。文献[9]提出了一种基于 Contourlet 变换的 SPIHT 算法,其在一定程度上弥补了 SPIHT 算法不能有效

本文受天津市基金京津冀协同创新项目(17YFXTZC00020)资助。

王亚鸽(1992—),女,硕士生,主要研究方向为图像处理, E-mail: wangyage09@163.com;康晓东(1964—),男,博士,教授,CCF 高级会员,主要研究方向为医学图像处理、医疗信息系统集成, E-mail: 2743315616@qq.com(通信作者);郭 军(1972—),男,实验师,主要研究方向为实验技术;洪 睿(1992—),男,硕士生,主要研究方向为图像处理;李 博(1986—),男,硕士生,主要研究方向为图像处理;张秀芳(1995—),女,主要研究方向为图像处理。

保留图像纹理和轮廓细节的不足。文献[10]提出了一种基于混合域的改进 SPIHT 算法,它取消了 SPIHT 算法对 LIS 链表的分类,将改进后的 SPIHT 算法与 Contourlet 变换结合。与 SPIHT 算法相比,它的编码速度有所提高,也使重构图像更多地保留了高频信息。

图像边缘是图像中灰度变化显著的位置,具有高频特性^[11]。经典的边缘检测算子有 Canny 算子、Sobel 算子、Robert 算子、Prewitt 算子和 LOG 算子等。其中,Canny 算子是一种含有最优化思想的边缘检测算子,能很好地平衡噪声抑制和边缘检测^[12],具有良好的边缘检测性能。因此,本文采用 Canny 边缘检测来提取图像的高频信息。

图像的高频信息主要表达图像的纹理和轮廓部分,在图像中占比虽小却很重要。针对 SPIHT 算法不能有效表达图像高频信息的不足,本文提出一种联合 Canny 边缘检测和 SPIHT 的图像压缩方法。首先对原图像进行 Canny 边缘检测,将图像的纹理边缘部分提取出来并进行 Huffman 无损编码及解码,得到边缘重构图,再将其与 SPIHT 结合 Huffman 算法得到的重构图进行相加,以恢复原图像。

2 Canny 边缘检测

1986年,Canny 定义了边缘检测的3条准则,并在此3条准则的基础上提出了 Canny 边缘检测算子^[13]。Canny 边缘检测算法主要包括图像平滑、梯度幅值和方向的计算、非极大值抑制以及双阈值检测和边缘连接4个步骤。

(1) 图像平滑

用高斯滤波器来平滑图像,去除噪声,以减小噪声对梯度计算的影响,因为噪声像素点附近的梯度幅值较大,边缘检测算子容易将噪声像素误认为边缘像素。高斯滤波函数如下所示:

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

则平滑后的图像为:

$$F(x, y) = G(x, y) * f(x, y) \quad (2)$$

其中, σ 为高斯滤波器参数,控制着平滑去噪的程度; $f(x, y)$ 为原图像函数。

(2) 计算梯度幅值和方向

Canny 算法的基本思想是寻找一幅图像中灰度强度变化最强(即梯度方向)的位置,平滑后的图像可以由 Sobel 算子来获得梯度的幅值 M 和梯度的方向 θ 。

$$M = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (3)$$

$$\theta = \arctan(G_y/G_x) \quad (4)$$

检测图像 x 和 y 方向的 Sobel 算子分为:

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

(3) 非极大值抑制

采用非极大值抑制技术来消除边误检,目的是将模糊的边界变得清晰。

(4) 双阈值检测和边缘连接

采用双阈值技术对非极大值抑制后的图像做进一步处

理,然后用滞后技术跟踪边界,进行边缘连接。

3 多级树集合分裂(SPIHT)算法

SPIHT 算法充分利用不同频带内小波系数的特征,通过集合划分对小波系数进行逐次量化编码,从而更加有效地组织小波系数,减少编码冗余,提高编码效率。SPIHT 算法采用空间方向树结构组织小波系数,图1为一幅图像经过三层小波分解后的空间方向树结构的示意图,图中水平方向、垂直方向和对角线方向的子带分别被划分为3个不同的集合,最低频子带 LL3 单独划为一个集合。

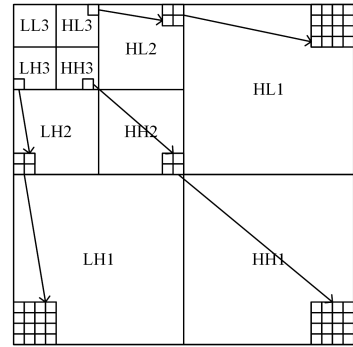


图1 空间方向树结构

在空间方向树结构中,每个节点用坐标来表示,可记为 (i, j) ,节点系数记为 $C(i, j)$,用函数 S_n 对系数的重要性进行评判。函数 S_n 的表达式为:

$$S_n = \begin{cases} 1, & \max\{|c(i, j)|\} \geq T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

其中, T 为当前阈值,初始阈值 $T_0 = 2^n$, $n = \lfloor \log_2(\max\{|c(i, j)|\}) \rfloor$,符号 $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整运算。

在该算法中,引入如下4个集合符号。

H :所有空间方向树的根节点的坐标集合。如图1所示, H 为低频子带 LL3, HL3, LH3 与 HH3 内所有小波系数的坐标集合。

$D(i, j)$:节点 (i, j) 所有子孙坐标组成的集合,称为 D 型集合,记为 A 类型。

$O(i, j)$:节点 (i, j) 的儿子坐标组成的集合。

$L(i, j)$:从节点 (i, j) 所有子孙坐标集合 D 中除去 O 集合后剩余子孙的坐标集合(即不包括儿子集合),称为 L 型集合,记为 B 类型。

在图1中,除了没有子类的3个最高频子带(即 HH1, HL1 和 LH1)和最低频子带 LL3 内的节点之外,对所有的子节点 (i, j) ,都存在如下表达式:

$$L(i, j) = D(i, j) - O(i, j) \quad (8)$$

$$O(i, j) = \{(2i, 2j), (2i, 2j+1), (2i+1, 2j), (2i+1, 2j+1)\} \quad (9)$$

引入的储存当前小波系数相关信息的3个有序链表有不重要集合链表(LIS)、不重要系数链表(LIP)和重要系数链表(LSP)。

SPIHT 算法的基本思想是用函数 S_n 对集合及子节点进行重要性判断,并在 Z 字型扫描过程中不断进行集合分裂。集合的分裂规则如下^[14]:

(1)若 $D(i, j)$ 中某个节点的系数大于当前阈值,把 $D(i, j)$ 分裂成 $L(i, j)$ 及 4 个孩子节点 (k, l) , 且 $(k, l) \in O(i, j)$;

(2)若 $L(i, j)$ 中某个节点的系数大于当前阈值,把 $L(i,$

j)分裂成4个集合 $D(k,l)$,且 $(k,l) \in O(i,j)$ 。

4 本文算法的整体流程

本文所提算法的流程如图2所示。本文针对 SPIHT 结合 Huffman 算法的重构图像会损失大量高频信息的不足,提出一种联合 Canny 边缘检测和 SPIHT 的图像压缩算法,使重构图像保留更多的高频信息。

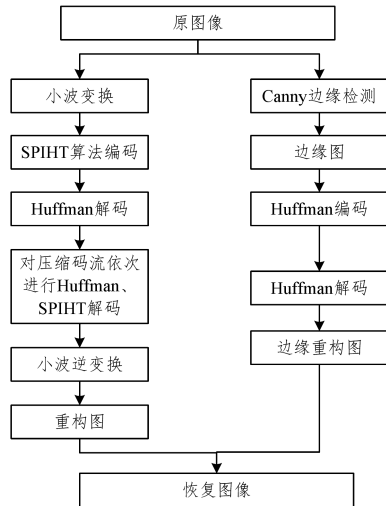


图2 本文算法流程图

该算法的实现步骤如下:

(1)对图像进行 Canny 边缘检测,以提取图像的纹理和轮廓信息,对得到的边缘图进行 Huffman 编码,再对得到的码流进行 Huffman 解码,得到边缘重构图像。

(2)对图像进行小波分解,分解级数为5级,用 SPIHT 算法编码小波系数,为优化码流的01空间,再对码流进行 Huffman 编码,得到优化后的压缩码流,再依次经 Huffman 解码、SPIHT 解码和小波逆变换得到一幅对高频信息有所损失的重构图像。

(3)为弥补步骤(2)的重构图像对高频信息的损失,本文算法将前两步得到的重构图像相加,以恢复原图像。

5 实验及结果分析

为验证本文算法的有效性,选取10幅具有代表性的 512×512 的标准灰度图像进行压缩测试,其中含有2幅胸部和2幅颅脑的CT图像。实验环境为:戴尔 Precision Tower5810 图形工作站、Windows10 系统和 Matlab2016a。考虑到本文算法以提高重构图像对高频信息的保留量为出发点,实验评价指标除了采用使用最广泛的 PSNR,还采用了可以反映图像信息量的信息熵。表1和表2分别列出用本文算法和文献[15]提出的 SPIHT 结合 Huffman 算法对10幅图像进行测试的 PSNR 和信息熵。

表1 不同比特率下重构图像的 PSNR 值

Image	0.0625		0.125		0.25		0.5	
	SPIHT+ Huffman	Proposed	SPIHT+ Huffman	Proposed	SPIHT+ Huffman	Proposed	SPIHT+ Huffman	Proposed
thorax1	24.1963	33.3957	27.7606	33.7607	33.9340	30.3437	33.9805	31.8467
thorax2	27.1942	34.5964	32.8025	35.1241	37.8328	35.2248	43.5296	35.2843
head1	26.3072	33.9527	30.7742	34.2488	35.5664	34.3868	40.4355	34.4243
head2	27.1964	32.2705	32.0846	32.5560	37.6136	32.6763	44.3289	32.7166
cameraman	25.1477	29.3813	28.8442	29.7065	33.1479	29.8583	37.9269	29.9249
house	28.3449	36.7402	32.9616	37.1093	38.1186	37.1868	43.5967	37.2361
lena	26.0765	30.3865	29.6346	30.5868	33.3113	30.6889	37.4135	30.7463
man	26.0310	33.2141	31.1930	33.6990	36.0040	33.8512	40.8491	33.8970
peppers	25.4848	31.1080	28.7744	31.4636	32.4101	31.6002	33.0707	31.6491
tiffany	26.4382	32.0062	30.0884	32.2753	33.0568	32.4209	36.2033	32.4941

表2 不同比特率下重构图像的信息熵

Image	0.0625		0.125		0.25		0.5	
	SPIHT+ Huffman	Proposed	SPIHT+ Huffman	Proposed	SPIHT+ Huffman	Proposed	SPIHT+ Huffman	Proposed
thorax1	6.9807	7.4976	6.4976	7.0405	6.1929	6.8159	6.0740	6.7038
thorax2	3.6744	4.2806	3.3446	3.9218	3.0930	3.6206	2.8614	3.3187
head1	4.1333	4.9807	3.8476	4.7930	3.4842	4.4530	3.2631	4.2105
head2	4.5380	5.0146	4.1617	4.6806	3.9450	4.2936	3.8389	4.2803
cameraman	7.2107	7.8367	7.1775	7.8002	7.1028	7.7246	7.0604	7.6735
house	6.9237	7.3002	6.5570	7.0015	6.2907	6.7638	5.9772	6.4778
lena	7.4884	7.8251	7.4430	7.8029	7.4142	7.7941	7.3928	7.7859
man	7.4807	8.0130	7.3706	7.9802	7.3257	7.9235	7.3044	7.9021
peppers	7.6207	8.1027	7.6077	8.0031	7.5871	7.9387	7.5866	7.9301
tiffany	6.6144	7.1938	6.5963	7.1730	6.5891	7.1087	6.5846	7.0931

从表1可以看出,在0.0625和0.125的低比特率下,本文算法高于 SPIHT 结合 Huffman 算法的 PSNR 值;在0.25和0.5的较高比特率下,本文算法低于 SPIHT 结合 Huffman 算法的 PSNR 值。从表2可以看出,在相同的比特率下,本文算法高于 SPIHT 结合 Huffman 算法的信息熵,即本文算法在一定程度上提高了重构图像对高频信息的保留量。

用 Matlab 软件绘制 lena 图像的信息熵和 PSNR 值变化

曲线。从图3可以明显看出,虽然本文算法和 SPIHT 结合 Huffman 算法的信息熵都随着比特率的提高而减小,但本文算法的信息熵却始终大于 SPIHT 结合 Huffman 算法的信息熵。从图4所以直观看出,随着比特率的提高,本文算法的 PSNR 值呈上升趋势且幅度很小, SPIHT 结合 Huffman 算法的 PSNR 值也呈上升趋势但幅度较大,并且在较低比特率下,本文算法的 PSNR 值高于 SPIHT 结合 Huffman 算法。

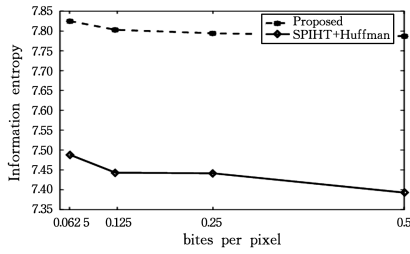


图3 不同算法中比特率与信息熵的关系

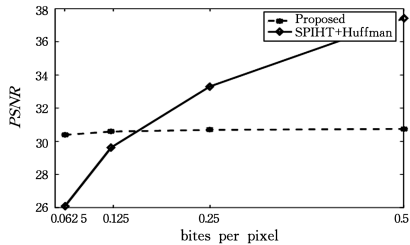


图4 不同算法中比特率与 PSNR 值的关系

图5是 house, thorax1 和 head1 3 幅测试图像在比特率为 0.125 时本文算法和 SPIHT 结合 Huffman 算法的重构图像。从中可以明显看出,本文算法保留了更多的轮廓和纹理信息;同样,从表 2 也可看出本文算法在图像信息量方面明显高于 SPIHT 结合 Huffman 算法。

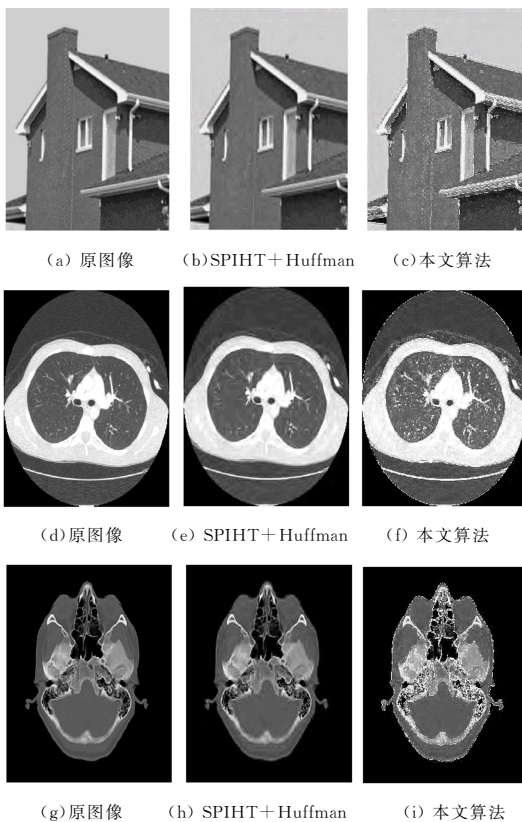


图5 比特率为 0.125 时不同算法的重构图像对比

结束语 本文以提高重构图像对高频信息的保留量为出发点,提出了一种联合 Canny 边缘检测和 SPIHT 的图像压

缩方法。实验结果表明,本文提出的方法在低比特率下的 PSNR 值和图像信息熵高于 SPIHT 结合 Huffman 算法的相关指标值;本文算法用 Canny 边缘检测提取的高频信息替代文献[15]算法重构图像中损失的高频信息,使重构图像的高频信息得到很好的保留,这是本文算法的优势;但也会存在一部分高频信息冗余,使得本文算法重构图像的视觉效果不如文献[15]算法。

参考文献

- [1] 康晓东. 影像信息学[M]. 北京:人民卫生出版社,2009:108-109.
- [2] MALLAT S G. A theory for multi-resolution signal decomposition: The wavelet representation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(7): 674-693.
- [3] SHAPIRO J M. Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficient [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445-3462.
- [4] SAID A, PEARLMAN W A. A New, Fast, and Efficient Image Code Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3): 243-250.
- [5] CHEN H X, LIU Z G. Embedded and scale image coding based on virtual SPIHT [C] // Nation Conference on Advanced Communication Technology, 2011: 764-767.
- [6] ZHANG X J, HUANG W Y, LIU X. Improved listless zerotree coding image coding hardware algorithm based on lifting wavelet [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2013, 40(4): 492-500.
- [7] 黄庆. 无链表 SPIHT 图像压缩编码改进算法研究 [D]. 南昌:南昌大学, 2013.
- [8] 吴运泽. 基于小波变换的多级树集合分裂图像压缩算法研究 [D]. 沈阳:沈阳工业大学, 2015.
- [9] 汤敏, 陈秀梅, 陈峰. 基于 Contourlet 变换和 SPIHT 算法的彩色医学图像压缩 [J]. 计算机科学, 2014, 41(1): 303-306.
- [10] 王学春, 刘申晓, 常朝稳. 基于混合域的改进 SPIHT 图像编码算法 [J]. 计算机科学, 2015, 42(4): 302-305.
- [11] 王文豪, 姜明新, 赵文东. 基于 Canny 算子改进的边缘检测算法 [J]. 中国科技论文, 2017, 12(8): 910-915.
- [12] 王敏杰. 图像边缘检测技术综述 [C] // 2011 年中国智能自动化学术会议论文集 (第一分册). 中国自动化学会智能自动化专业委员会, 2011: 6.
- [13] CANNY J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.
- [14] YANG S H, CHENG P F. Robust transmission of SPIHT-coded images over packet networks [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(5): 558-562.
- [15] 张倩妮. 基于 SPIHT 方法的医学图像压缩算法研究 [D]. 武汉:武汉轻工大学, 2016.