

基于零树编码的数字水印算法^{*})

董卫军¹ 周明全^{1,2} 耿国华¹

(西北大学信息科学与技术学院 西安 710069)¹(北京师范大学信息科学与技术学院 北京 100875)²

摘要 随着多媒体技术的发展,数字水印技术已经成为数字版权保护领域的一个研究热点。针对传统数字水印技术的有限性,通过对频域数字水印算法进行分析,提出了一种新的数字水印算法。新算法以零树编码思想为基础,对原始图像和水印图像进行小波变换和零树编码嵌入,实现了二维彩色图像将水印信息嵌入到二维图像数据中。实验证明,新算法在对彩色图像进行水印处理方面达到较好的效果,具有较好的健壮性。

关键词 零树编码,小波变换,数字水印

Image Watermark Technique Based on EZW

DONG Wei-Jun¹ ZHOU Ming-Quan^{1,2} GENG Guo-Hua¹

(College of Information Science and Technology, Northwest University, Xi'an 710069)

(College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract With the development of digital multimedia technology, digital watermark has becoming a popular topic in the field of digital copyright protection. Aiming at the shortcomings of the traditional digital watermark techniques, analyzes the frequency domain watermark algorithm, propose a new digital watermark method. The new method based on EZW wavelet transform. Accomplish embedding 2d true color images as watermark information into the 2d color images. Experimental results show that the new method has an excellent effect in 2d true color images digital watermark processing. The experimental results also demonstrate that the new method has an good robust evaluation.

Keywords EZW, Wavelet transform, Digital watermark

1 引言

数字多媒体技术的不断发展,使得数字产品很容易被复制、处理、传播和盗版。而互联网技术的普及导致这种问题变得日益严重。因此,如何既能方便用户使用,又能真正地保障所有者的版权信息,还能保证信息本身的完整性就成为一个很迫切的研究课题。数字水印技术是解决该问题的一种思路,其主要思想是:将水印信息嵌入到媒体中(以不破坏原数据的欣赏价值、使用价值为原则),当媒体信息在网络传输中修改或者盗版后,用户可以通过水印信息证明媒体的所有者、真伪性以及完整性。其可以广泛地应用在电子商务、电子报刊、广播和视频点播、虚拟博物馆或其它基于 Web 系统中。

目前的水印处理算法主要可以分为空间域处理^[1-3]和变换域处理^[4,5]两大类。空间域水印处理基于直接修改图像的像素。该类算法对于有损压缩和滤波有较好的鲁棒性,缺点在于嵌入的水印信息有限,否则视觉效果较差。变换域水印处理通过对图像进行各种变换(如离散余弦变换,离散傅里叶变换,线性调频 Z 变换等)后,然后在变换域内嵌入水印信息。

小波分析是目前国际上最新的时间-频率分析工具,具有“自适应性”和“数学显微镜性质”,是现在许多学科进行研究的主要工具。1989 年 Mallet 提出了信号的多分辨分析理论,极大地促进了小波变换在信号分析中的应用。小波分析成为处理多尺度可视化信息的强有力的工具,在计算机图像处理方面得到了广泛的应用。

本文提出了一种新的数字水印算法,新算法吸收了零树

小波编码得重要思想,将水印信息嵌入到重要系数中,实验表明采用新算法进行水印嵌入,既能保证水印的鲁棒性,而且在嵌入水印后,对图像本身质量的影响也比较小,人的肉眼几乎无法区别。并且新算法在看压缩、抗截减、抗滤波方面均表现出良好的特性。

2 算法介绍

定义 1 如果小波系数 $x_n(p, q) \in D$, D 属于子带 HL_n , LH_n , HH_n , 那么称 $x_n(p, q)$ 是 $x_{n+1}(i, j)$ 的子结点。其中: $p = 2 * i - 1$ 或者 $p = 2 * i$, $q = 2 * j - 1$ 或者 $q = 2 * j$, $x_{n+1}(i, j)$ 属于子带 HL_{n+1} , LH_{n+1} , HH_{n+1} 。

定义 2 如果对于小波系数 $x_{n+1}(i, j)$ 属于子带 HL_{n+1} , HH_{n+1} , LH_{n+1} , $x_n(p, q)$ 属于子带 HL_n , LH_n , HH_n , 其中: $p = 2 * i - 1$ 或者 $p = 2 * i$, $q = 2 * j - 1$ 或者 $q = 2 * j$ 。有对应的阈值 T_1, T_2 , 如果条件 $x_{n+1}(i, j) > T_1$ 且 $x_n(p, q) > T_2$ 成立, 则称 $x_{n+1}(i, j)$ 及其子结点为重要系数小波树。

2.1 多级小波分解

对原图像 $A_{2^{j+1}}^j f(L)$ 进行二维小波分解, 可以得到四幅子图像 $A_{2^j}^j(LL_1)$, $D_{2^j}^j f(HL_1)$, $D_{2^j}^j f(LH_1)$ 和 $D_{2^j}^j f(HH_1)$ 。它们分别表示在尺度 2^j 上的水平低通-垂直低通子图像, 水平带通-垂直低通子图像, 水平低通-垂直带通子图像, 水平带通-垂直带通子图像。

利用小波分解对子图像 $A_{2^j}^j f(LL_1)$ 再次进行小波分解, 得到尺度 2^{j-1} 上的四幅子带图像, 类似地可以对图像 $A_{2^{j-1}}^j f(LL_1)$ 再次分解, 以此类推, 可以得到图像的多级小波分解,

^{*})本文研究得到国家自然科学基金(60271032)和公安部重点项目(20036125301)的资助。董卫军 博士, 讲师, 主要从事图形图像领域的研究。

得到不同分辨率的子带图像。

图像经过多级单小波分解后,小波系数之间存在相关性。根据小波系数之间的相关性,可以构造与之对应的小波系数树。一幅图像经过 M 级单小波变换后得到 $3M+1$ 幅多尺度子带图像,一棵完整的小波系数树构成如下:根节点是最低频子带的一个小波系数,根节点的 3 个子节点是同一分解级上 3 个方向子带图像中相应空间位置上的小波系数。而与子节点相应的同一空间位置同一方向的更精细尺度下的 4 个小波系数构成子节点的下级节点,依此类推,可以形成多级小波系数树。除最高频率的 3 个子带之外,每个方向子带中的系数都有 4 个子节点,而以其中任一个系数为根节点的小波系数树为相应的上级树的子树。小波系数的相关性如图 1 所示。

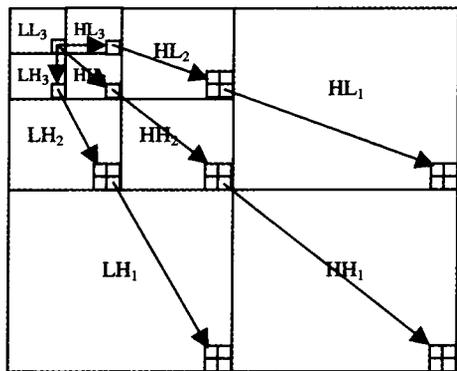


图 1 三级小波分解及系数相关性

2.2 零树编码

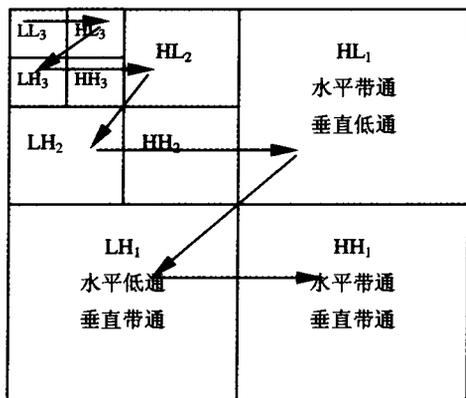


图 2 子带重要性排序图示

EZW(嵌入式零树小波)编码方法^[6]是一种简单有效的图像压缩方法,符合人类的视觉特性。零树编码方法主要依据是:给定门限值 T ,如果某个小波系数 K 的绝对值小于 T ,

则称 K 是相对于 T 的不充分系数;否则称 X 是相对于 T 的充分系数。如果一棵树上除根节点外所有系数都相对于 T 为不充分系数,则称该树为门限 T 下的零树。

EZW 使用逐次逼近量化技术进行细数编码。在单小波变换域,采用以上方法所定义的一棵完整的小波系数树对应于原始图像中同一空间位置上的一个图像子块。正是依赖于这种对应关系,使得图像的局部特征能够较好地通过零树和零子树来表示。子带重要性排序如图 2 所示。

2.3 水印的嵌入与提取

为了保证鲁棒性,对水印图像进行数值变换:将水印图像中的 0 和变为 -1,从而希望水印图像的统计特征可以类似于白噪音。

水印的嵌入:对原始图像进行三级小波分解。选择原图像的 LL_3, LH_3, HL_3, HH_3 作为水印嵌入部分。也可以选择 LL_2, LH_2, HL_2, HH_2 作为冗余嵌入部分。假定宿主图像为 512×512 ,水印图像为 32×32 。

由于低频部分是图像信号的主要部分,携带有较大的能量,而且大的小波系数对应着更强的纹理,若在此处嵌入水印则会具有更好的鲁棒性,因此对于低频部分进行如下处理:

将低频部分(LL_3)分为 4×4 的 256 个块。每个块内选择最大的两个系数来嵌入水印。嵌入方式如式(1)所示:

$$X_{LL_3}(i, j) = X_{LL_3}(i, j) + a * w(k) \quad (1)$$

其中 $X_{LL_3}(i, j)$ 为低频重要系数, $w(k)$ 为水印信息, a 为强度因子。

对中频部分进行如下处理:确定阈值,在中频部分查找重要系数,为了提高水印的鲁棒性,可以采用冗余嵌入,即在 LH_3 嵌入的同时再在 LH_2 中嵌入一次。嵌入方式如式(1)、式(2)所示:

$$S(k) = S(k) + a * w(k) \quad (2)$$

$$R(k) = R(k) + a * w(k) \quad (3)$$

其中 $S(k)$ 为 LH_3, HL_3, HH_3 中的重要小波系数, $w(k)$ 为水印信息, a 为强度因子。 $R(k)$ 为 $S(k)$ 的子结点中的重要系数。

最后进行逆小波变换,可以得到嵌入式水印的的图像。

水印的提取:对检测图像进行三级小波分解。将低频部分(LL_3)分为 4×4 的 256 个块,求每个块内最大的两个系数;确定阈值,在中频部分(LH_3, HL_3, HH_3)查找重要系数 $S(k)$ 及其子结点的重要系数 $R(k)$ 。在低频和中频部分分别提取水印信息。最后将水印序列中的 -1 变为 0。

3 实验结果

图4给出了水印的嵌入和提取实验结果。其中(a)图为

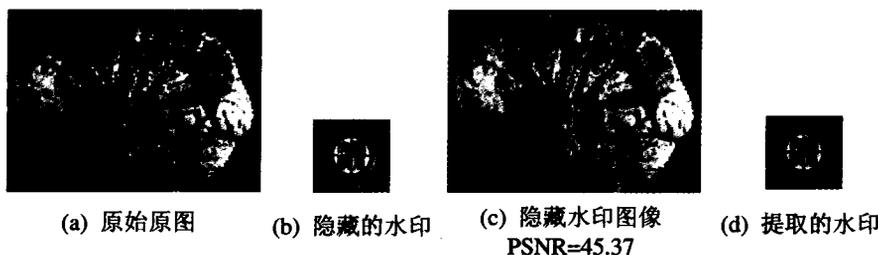


图 4 水印的隐藏与提取

原始图像;(b)图为待嵌入的彩色水印图像;(c)图为加入水印后的图像,可以看出新算法在嵌入水印后,所得到的图像对视

觉效果几乎没有影响,人眼很难分辨出它与原图的差别;(d)

(下转第 163 页)

CA 产生分形图像的过程中如何利用已知的 DNA 序列结构信息? 更好的 DNA 三联密码子序列分形图像表示方法是如何实现的? 如果把 DNA 子序列所出现的频率也看成一维, 这样二维分形图像就可以转化成三维图像, 从而能研究不同子序列出现频率的分布情况, 这些都是下一步要做的研究工作。

结束语 基因组是由四种不同的脱氧核糖核苷酸按照特定的编码规则串联成的一维线性序列, 其中蕴藏着生物体中绝大部分的结构信息和控制信息。因此, 可以说基因组是生物体内的信息和控制中心。对 DNA 序列结构规律的探究是至关重要的研究工作。但面对海量的 DNA 序列数据, 传统的统计研究方法还不能很好地满足 DNA 序列研究的需要; 序列可视化研究无疑是一种能够揭示更多隐藏信息的数据表示方法。因为人类获得外在世界信息的 80% 是通过视觉通道获得的, 可视化依然继续着借助形象化表达人类意图的传统。

参考文献

- 1 Ashlock D, Golden J B. Iterated function system fractals for the detection and display of DNA reading frame. In: Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation, 2000
- 2 Back T, Hammel U, Schwefel H-P. Evolutionary computation:

- Comments on the history and currents state. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 3~17
- 3 Chellapilla K, Czarnecki D. A preliminary investigation into evolving modular finite state machines. In: Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, 1999, 1349~1356
- 4 Nandy A. Graphical analysis of DNA sequence structure: III. Indications of evolutionary distinctions and characteristics of introns and exons. Curr. Sci, 1996(70): 611~668
- 5 Leong P M, et al. Morgenthaler. Random walk and gap plots of DNA sequences. Computer appl Biosciences, 1995, 11(5): 503~507
- 6 National Center for Biotechnology Information (NCBI), National Library of Medicine, National Institutes of Health. http://www.ncbi.nlm.gov/; NCBI Gen Bank. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/; NCBI Genomes, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genomes/
- 7 Berger J A, Mitra S K, et al. Visualization and analysis of DNA sequences using DNA walks. Journal of the Franklin Institute, 2004, 341: 37~53
- 8 Ashlock D, Golden J. Chaos automata: iterated function systems with memory. Physica D, 2003, 181: 274~285
- 9 Koza J R. Genetic Programming. Cambridge, MA: The MIT Press, 1992
- 10 Jeffrey H J. Chaos game representation of gene structure. Nucleic Acid Research, 1990, 18(8): 2163~2170
- 11 Hao Bai-Lin. Fractals from genomes- exact solutions of a biology-inspired problem. Physica A, 2000, 282: 225~246
- 12 Hao Bai-lin, Lee H C, Zhang Shu-yu. Fractals related to long DNA sequences and Complete genomes. Chaos, Solitons and Fractals, 2000, 11: 825~836

(上接第 154 页)

图为提取的彩色水印图像, 效果清晰, 易于识别。

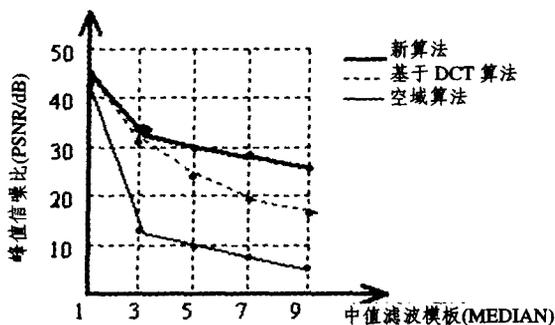


图 5 不同滤波情况下提取水印图像的 PSNE 值比较

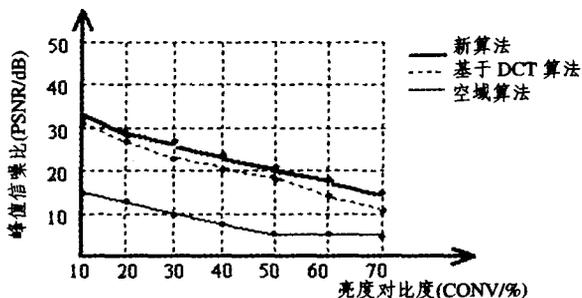


图 6 亮度、对比度调整后提取水印图像的 PSNR 值

图 5 给出了图像在进行不同程度的滤波情况下, 各个算法提取出的水印图像 PSNR 值结果。图 6 给出了图像在进行不同程度的亮度对比度变换情况下, 各个算法提取出的水印图像 PSNR 值结果。从图 5 可以看出, 当中值滤波的模板稍

微增大的时候, 空域算法的效果就明显下降, 可见其在这方面的健壮性不好, 而新算法提取出水印图像质量虽有所下降, 但总的效果还是比较好的。从图 6 可以看出, 亮度、对比度的调整对空域算法的影响最大, 而新算法在一定程度上能够抵抗这种变化对提取水印图像质量的影响。

结论 互联网技术及电子商务、电子政务技术的高速发展, 多媒体数字产品的版权保护日益引起人们的重视。对于该问题的解决, 数字水印技术是一种很好的思路。小波分析所具有的多分辨率能力使其广泛地用于图像处理领域。

大多数数字水印算法均是以灰度图像或者随即序列作为嵌入对象, 而面向彩色图像的水印算法很少。由于彩色水印容易辨别, 因此将其作为嵌入对象具有极强的实际意义。根据人视觉的多分辨率特性, 本文提出了一种新的数字水印算法, 新算法吸收了零树小波编码得重要思想, 将水印信息嵌入到重要系数中, 实验表明采用新算法既能保证水印的鲁棒性, 而且在看压缩、抗裁减、抗滤波方面均表现出良好的特性。

参考文献

- 1 Schyndel R G Van, Tirkel A Z. A digital watermark. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Piscataway: IEEE Press, 1994, 2: 86~89
- 2 Wolfgang R B, Delp E J. A watermark for digital image. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Piscataway: IEEE Press, 1996, 3: 219~223
- 3 Nikoladis N, Pitas I. Robust image watermarking in the spatial domain. Signal Processing, 1998, 66(3): 386~405
- 4 Hsu C T, Wu J L. Hidden signayure in images. IEEE Trans. On image Processing, 2001, 9(2): 58~65
- 5 Ruanaidh J K O, Pun T. Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermark. Signal Processing, 2002, 86(4): 303~315
- 6 Shaprio J M. Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficients [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445~3461