

一种结合 SPIHT 编码的自嵌入水印算法

钟晓燕 冯前进

(南方医科大学生物医学工程学院, 广州 510515)

摘要 针对当前基于 DCT(离散余弦变换)的自嵌入水印算法对恢复图像细节能力不足的问题,提出了一种基于小波域内嵌编码的自嵌入水印算法。小波变换克服了 DCT 在图像压缩中的局限性, SPIHT 编码则利用了小波变换系数的特性,提高了压缩性能,在同等的嵌入容量时,使水印含有更多图像信息,从而在保证水印透明性的前提下,较传统方法提高了图像恢复质量。同时,鉴于 SPIHT 算法为内嵌编码,可根据需要调节水印大小从而改变嵌入强度,这也是传统方法所不具备的。Logistic 和 Cat 双重混沌映射的应用,提高了水印安全性和水印检测的能力。最后,进行了算法性能测试实验,验证了本文算法的有效性。

关键词 整数小波变换 SPIHT 编码 自嵌入 Logistic 映射 Cat 映射

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)07-1054-08

A Self-Embedding Watermarking Algorithm Based on SPIHT Coding

ZHONG Xiaoyan, FENG Qianjin

(Department of Biomedical Engineering, South Medical University, Guangzhou 510515)

Abstract Considering the problem that the current self-embedding watermarking algorithms are insufficient on detail-preserving, an integer wavelet transform combined with SPIHT algorithm is employed to implement a self-embedding watermarking algorithm for image content authentication. Wavelet transform can overcome the defect of Discrete Cosine Transform on image compression. And the characteristic of wavelet transform coefficients is taken into account, compression performance is enhanced and more image information is included of equivalent embedding capacity. In this way the watermarked image possesses not only good perceptual transparency but also better self-recovering capability compared with traditional techniques. For the SPIHT algorithm is an embedded coding algorithm, it can adjust the size of watermarking to change the embedding intensity according to the actual situation, which cannot be held by other methods. And Logistic map and cat map increase the security and ability of tamper localization of watermark. Finally, experimental results show the efficiency of the algorithm.

Keywords integer wavelet transform, SPIHT encoding, self-embedding, Logistic map, Cat map

0 引言

数字水印作为传统加密方法的有效补充手段,是一种可以在开放的网络环境下保护版权和认证来源及完整性的新技术,主要可分为鲁棒型水印、易碎

型水印^[1-3]和半易碎型水印,自嵌入水印属于易碎水印的一种。

自嵌入的概念是 Fridrich 于 1999 年提出的,其算法^[4]的基本思想是:将图像分为 8×8 大小的块,以 50% 的质量因子提取每块图像的 JPEG 压缩码流,加密后,嵌入到距当前块距离较远的块的 LSB

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB716104);国家自然科学基金重点项目(30730036);广东省产学研项目(cgzhzd0717)

收稿日期:2009-11-26; **改回日期:**2010-04-13

第一作者简介:钟晓燕(1977—),女,助教。2008 年于南方医科大学获生物医学工程专业硕士学位。主要研究方向为医学图像处理。
E-mail: dawnswallow212@163.com

通讯作者:冯前进, E-mail: fengqj99@fimmu.com

(最低比特位)平面,使得能够在这个块被篡改后可以通过嵌入在其他块内 JPEG 码流来恢复。考虑到篡改往往集中在一定的区域,当前块与嵌入码流的块距离越远越好,笔者推荐的块间距离应大于图像尺寸的 $3/10$ 。从上可看出,在同等的嵌入容量下,恢复图像的质量取决于水印中所含图像信息的多寡,生成水印时采用的压缩编码方法成为恢复图像质量的关键。从这个角度出发,张鸿宾等人^[5]通过分析 DCT(离散余弦变换)系数的统计特性,重新设定了 DCT 系数的码长分配,使篡改恢复质量得到进一步的提高。后来又有不少学者围绕编码位长方面提出了许多改进方法,以提高水印恢复图像的质量。上述方法^[5-6]都是基于 DCT 变换的编码算法,而我们知道,小波变换与 DCT 变换相比,在时频域都有高的分辨率,更加适用于图像压缩编码。如果采用基于小波变换的编码算法^[7-10]作为水印的生成算法,在相同的嵌入强度时,恢复图像的质量必将大幅提高。另一方面,水印图像的大小决定了嵌入强度,为了得到特定的嵌入强度,文献^[5-6]设计了复杂的量化策略与码长分配,而且嵌入强度设定后不能动态调整。采用内嵌编码作为水印的生成算法,可从任意长度的码流恢复水印图像,嵌入强度可根据需要动态调整,这也是基于 DCT 变换方法所不具备的。理论上讲基于小波变换的内嵌编码算法都可用来生成水印,本文对当前流行的几种小波域内嵌编码算法比较后发现: EZW 算法性能较差, SPIHT^[7]、JPEG2000^[9]、EBOHT^[10]性能相当,且 SPIHT 算法的复杂度较低。所以采用 SPIHT 编码框架作为水印生成算法。

采用整型小波变换,结合 SPIHT 图像编码框架,实现了一种适用于图像内容认证和保护的自嵌入水印算法。首先给出了基于 SPIHT 编码的水印生成算法;随后采用 Logistic 映射产生的混沌序列对其置乱加密,再由 Cat 映射控制嵌入到原图像数据的低位;最后利用链式认证结构实现水印信号的检测和图像篡改数据的定位,水印数据经逆置乱解密后进行 SPIHT 解码完成篡改数据的恢复。

1 水印的嵌入

为了保证恢复图像质量和水印系统安全性,在兼顾篡改定位、视觉特性和水印容量的基础上,选取三级小波分解的低频系数和最高层、次高层高频系

数,对其作 SPIHT 编码生成压缩图像,同时结合 Logistic 和 Cat 双重混沌映射控制水印数据的生成和嵌入。

1.1 SPIHT 编码算法

对原始载体图像进行小波分解后,会形成一种类似金字塔式的层次结构。SPIHT 编码算法充分利用了小波系数这一特点,采用有效的空间方向树和比特平面编码方法,获得很高的压缩编码效率。并且 SPIHT 是嵌入式码流,能最大限度地重构最优的图像,而不因为码流的截断无法重构图像。

利用这一特性,首先通过调整编码至特定的比特平面从较大幅度上改变嵌入强度;然后再在比特平面一定时通过对高频成分,主要是在 HH_1 , HL_1 , LL_1 这 3 个子带中有选择性地选取系数进行编码从而达到微调的目的。图 1 以编码至第 3 个比特平面为例,给出了 Lena、airplane、baboon 图按照从 $HH_1 \rightarrow HL_1 \rightarrow LH_1$ 的顺序逐渐舍弃高频系数再进行编码时,嵌入水印图像 PSNR(峰值信噪比)的变化情况,说明以 SPIHT 方法生成的码流作为水印,可以实现可调的嵌入强度。

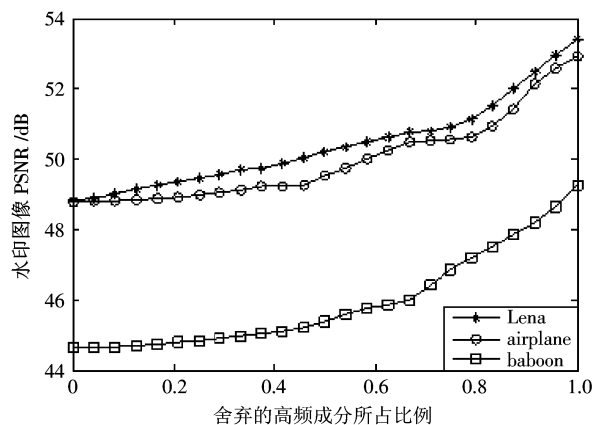


图 1 不同嵌入强度下水印图像的 PSNR

Fig. 1 The PSNR of watermarked image on different embedding intensities

1.2 水印的生成和嵌入

水印生成及嵌入过程如图 2 所示,具体步骤如下:

设原始图像 I 的大小为 $M \times N$, M 和 N 分别是图像的宽度和高度,要求是 8 的整数倍(如果不是则补足)。

图 3 给出了图像块与小波树结构所对应的小波块的映射关系图。对于紧支集小波来说,图 3(b)的图像块可近似用图 3(a)中小波块的 DWT 系数集来

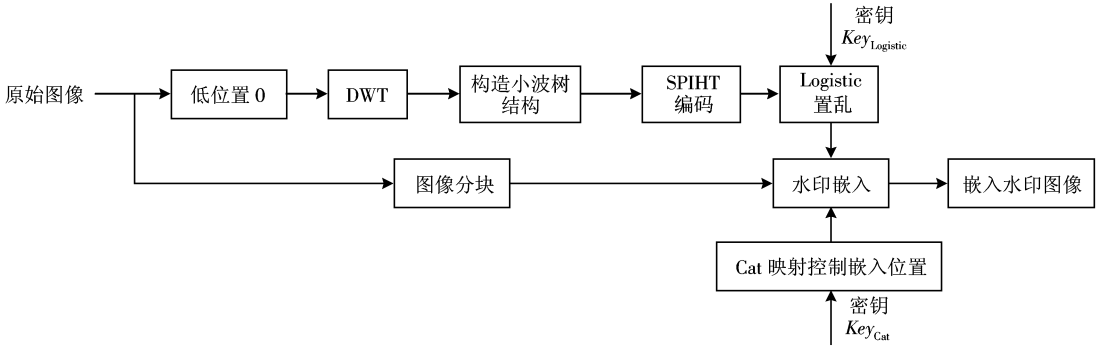
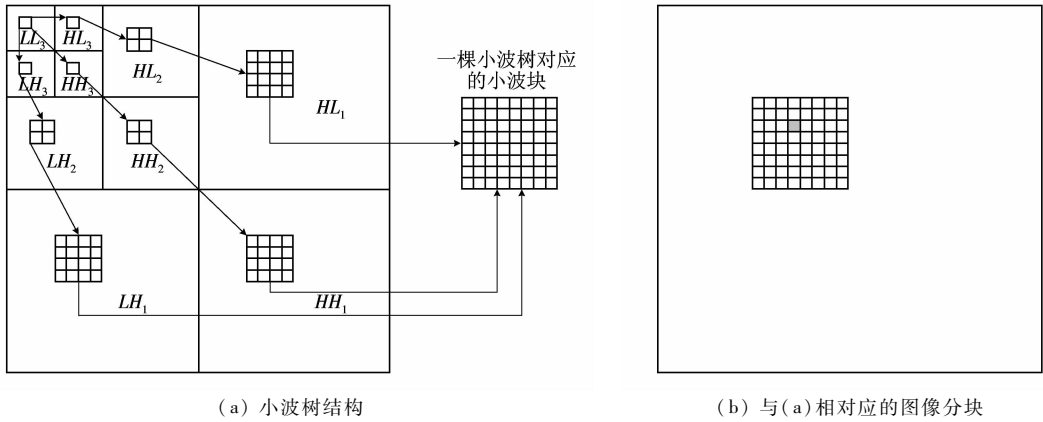


图 2 水印生成嵌入过程

Fig. 2 Watermarking generation and embedding scheme



(a) 小波树结构

(b) 与(a)相对应的图像分块

图 3 图像块与小波块的对应关系

Fig. 3 The relationship between image block and wavelet block

表征。如果把图像在空间域划分成与小波块同样大小、互不相交的图像块,则每个图像块都有一个小波块与之相对应。由于水印的生成是基于小波树结构的编码,根据小波块与图像块的对应关系,可以从提取出的水印检测定位到篡改的图像块,当水印信息正确时还可以修复相应的图像块内容。

1) 将图像 I 分成 8×8 小块 $B(i, j), i \in [1, M/8] \cap \mathbf{Z}, j \in [1, N/8] \cap \mathbf{Z}, \mathbf{Z}$ 为整数集合,共有 $(M \times N)/(8 \times 8)$ 个子块,水印的嵌入是在图像 I 分块后的 $B(i, j)$ 上进行的。

2) 由于水印信息嵌入时可能嵌到次低位平面,为保证水印认证时形成的编码位平面数据不变,同时编码数据还要尽可能接近图像原始数据,从而恢复图像质量较好,将图像 I 所有像素的低两位置为 10,得到置位后的图像 I_s 。

3) 把图像 I_s 通过 2 维小波变换(DWT)分解为 3 层多分辨率金字塔结构,产生 $LH_j, HL_j, HH_j (j = 1, 2, 3)$ 3 个高频带系列,一个 LL_3 低频带。同时,根据小波变换多分辨率的特点,以低频带 LL_3 中任意一

点为根节点,在不同分辨率下,沿水平、垂直、对角方向与高频子带中的对应像素点或像素块形成小波系数树,如图 3(a)所示。由根节点出发,沿任意一条箭头所指的路径,各节点的系数个数分别为 $1 \times 1, 2 \times 2, 4 \times 4$ 的系数块,如路径 $LL_3 \rightarrow HH_3 \rightarrow HH_2 \rightarrow HH_1$,如果根节点确定,则可以确定整个小波系数树。在 LL_3 子带中按照从左到右,从上到下的顺序依次以每个节点为根节点形成小波树,共有 $(M \times N)/(8 \times 8)$ 棵小波树,分别编号为 $(1, 1), (1, 2), \dots, (M/8, N/8)$,其中第 (i, j) 棵小波树 $LL_3(i, j)$ 与步骤 1) 中的图像分块 $B(i, j)$ 存在着如图 3 所示的对应表征关系。

4) 取出第 (i, j) 棵小波树 $LL_3(i, j) (i \in [1, M/8] \cap \mathbf{Z}, j \in [1, N/8] \cap \mathbf{Z})$,对其进行 SPIHT 编码,要考虑原图像的可嵌入容量,以便不影响水印嵌入后图像的质量。 LH_1, HH_1, HL_1 3 个小波子带由于包含的能量极少,而且是图像最精细的细节刻画,人眼对之并不敏感,因此全部抛弃。只选取每棵树的低频系数和最高层、次高层高频系数进行编码,同时限

制编码到第3个比特平面停止,得到0,1比特序列 $C_{i,j} = \{C_1, C_2, \dots, C_r\}$, 其中 (i, j) 是对应小波树序号, r 是生成编码的位流长度。

5) 为了增强水印的安全性,利用 Logistic 映射对编码数据进行扰乱处理,使其具有不可伪造性。Logistic 映射动力学方程为

$$x_{n+1} = \mu x_n (1 - x_n) \quad (1)$$

(1) 以参数 μ 和初值 X_0 作为密钥 Key_{Logistic} , 由 Logistic 映射控制生成长度为 r 的混沌序列 $X_n = \{X_1, X_2, \dots, X_r\}$;

(2) 计算 X_n 的均值

$$\mu_n = \sum_{i=1}^r X_i / r \quad (2)$$

(3) 生成 $S_n = \{S_1, S_2, \dots, S_r\}$

$$S_i = \begin{cases} 1 & X_i \geq \mu_n \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad i \in \{1, 2, 3, \dots, r\} \quad (3)$$

因而从混沌随机序列 $\{X_n\}$ 可以生成0,1比特随机序列 $\{S_n\}$;

(4) 用 $\{S_n\}$ 对 $C_{i,j}$ 扰乱后生成水印信息:

$$W_{i,j}(k) = C_{i,j}(k) \oplus S_k \quad k = 1, 2, \dots, r \quad (4)$$

6) 由 Logistic 映射置乱加密后生成的水印信息再经 Cat 混沌映射确定嵌入位置,进一步增强了水印稳健性并有效提高图像恢复能力。Cat 映射是一个2维的混沌映射,其可以表述为

$$\begin{bmatrix} x_{n+1} \\ y_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & b \\ a & ab + 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \end{bmatrix} \bmod N \quad (5)$$

式中, x_n, y_n 是一个 $N \times N$ 图像的像素点位置, $x_n, y_n, x_{n+1}, y_{n+1} \in \{1, 2, \dots, N\}$, a, b 是系统的参数,取正整数。为了确保以上混沌映射是一对一映射,矩阵 A 的行列式必须满足 $|A| = 1, A = \begin{bmatrix} 1 & b \\ a & ab + 1 \end{bmatrix}$ 。

此时不同图像块所形成的水印信息置乱嵌入到图像空间的位置不会重叠,可以形成了一个闭合认证链,同时经过扰乱加密后的编码数据分散嵌入到了其他的图像块中,使得水印可以检测到图像篡改。又由于映射的混沌特性,当迭代次数足够大时,任意两个相邻的位置,它们的新位置将会产生极大的分离,进而可以增强水印检测能力。

要定位第 (i, j) 棵小波树编码置乱后生成的水印信息 $W_{i,j}$ 对应的嵌入图像块的位置,以参数 a, b 和迭代次数 n 作为密钥 Key_{Cat} , 将 (i, j) 作为初值 (x_0, y_0) , 生成的迭代结果 (x_n, y_n) 作为对应嵌入图像块的序号 (i_1, j_1) 。

7) 将 $W_{i,j}$ 嵌入到上步定位的图像块 $B(i_1, j_1)$ 的低两位中。在进行嵌入时首先从最低位平面开始嵌入,全部嵌完后,再嵌入至次低位平面。即令嵌入点数据对应位平面的对应位与相应小波树生成的水印信息比特位相同。嵌入公式为

$$B_{i_1, j_1}(s, t) = \begin{cases} B_{i_1, j_1}(s, t) \mid (0x01 \ll n) & W_{i,j}(k) = 1 \\ B_{i_1, j_1}(s, t) \& (\sim (0x01 \ll n)) & W_{i,j}(k) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中, $B_{i_1, j_1}(s, t)$ 为第 (i_1, j_1) 个图像块中第 (s, t) 个图像像素, $s \in [1, 8] \cap \mathbf{Z}, t \in [1, 8] \cap \mathbf{Z}, k \in [1, r] \cap \mathbf{Z}, n$ 为左移位数, $n = \{0, 1\}$, 当嵌入最低位平面时 $n = 0$, 当嵌入次低位平面时 $n = 1$; $\&$ 、 $|$ 、 \sim 分别表示与、或、非。

由于 SPIHT 编码针对每棵树进行编码时,不同的小波树生成的编码位流大小不同,考虑到所加的水印不影响原图的可视性,保证水印的不可见性,因此若编码比特数目 r 小于128位(即低两个位平面的嵌入容量时),则只修改到 r 位为止,使得在满足认证需求的前提下,嵌入水印信息最少。

8) 重复上述步骤4)一步骤7)操作,将每棵小波树编码加密置乱嵌入到相应图像块中,得到嵌入水印后的图像 I' 。

1.3 水印的提取与检测

水印的检测过程如图4所示,主要分为定位篡改及恢复被篡改数据。具体过程如下:

1) 将图像 I' 分成 8×8 小块 $B'(i, j), i \in [1, M/8] \cap \mathbf{Z}, j \in [1, N/8] \cap \mathbf{Z}$, 共有 $(M \times N) / (8 \times 8)$ 个子块;

2) 按照从左到右、从上到下的顺序依次从每个图像块 $B'(i, j)$ 中提出水印信息 $W_{\text{ex}}(i, j), i \in [1, M/8] \cap \mathbf{Z}, j \in [1, N/8] \cap \mathbf{Z}$;

3) 将图像 I' 低位置10后得到图像 I'_s , 按照1.2节的方法对 I'_s 进行小波变换、构造小波树结构并依次对每棵小波树 SPIHT 编码,再对编码数据扰乱生成水印信息 $W_{\text{gen}}(i, j), i \in [1, M/8] \cap \mathbf{Z}, j \in [1, N/8] \cap \mathbf{Z}$;

4) 按照比特顺序依次比较 $W_{\text{gen}}(i, j)$ ((i, j) 为小波树的序号) 和由 Cat 映射确定的提取位置提出的水印 $W_{\text{ex}}(i_1, j_1)$ ((i_1, j_1) 为按照1.2节方法由 (i, j) 映射的坐标位置)。

由第 (i, j) 棵小波树生成的水印 $W_{\text{gen}}(i, j)$, 可以按照如下方法确定第 (i, j) 个图像块是否被篡改且能否被修复。如图5所示,设坐标位置的映射关系

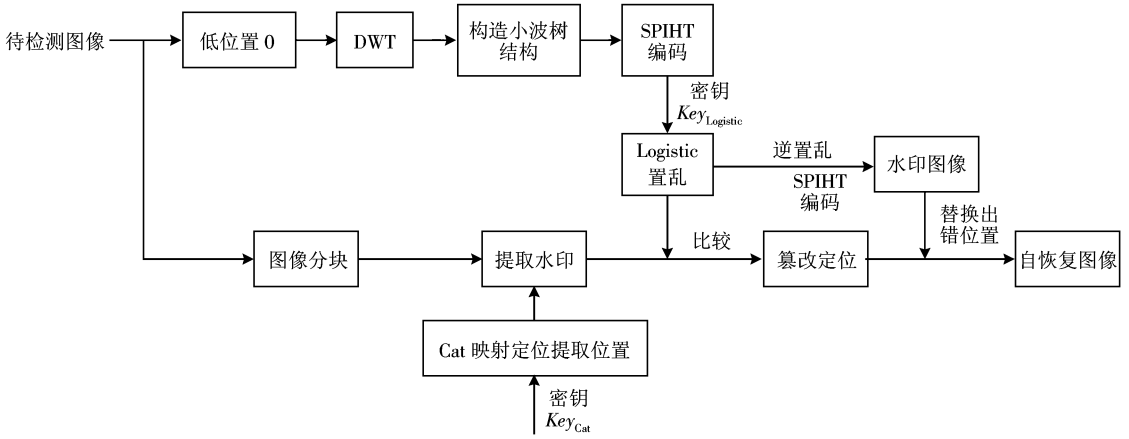


图 4 篡改检测恢复过程

Fig. 4 Tamper location and self recovery scheme

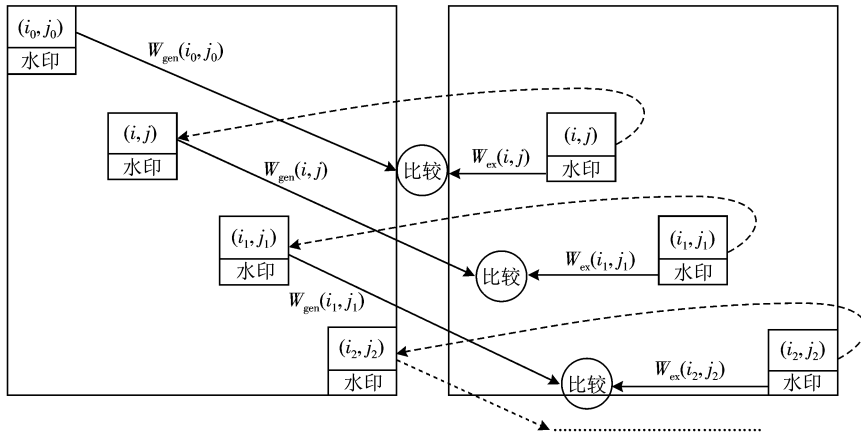


图 5 链式结构判定可修复篡改图像块

Fig. 5 The detection of tampered region by chain structure

如下： $(i_0, j_0) \rightarrow (i, j) \rightarrow (i_1, j_1) \rightarrow (i_2, j_2)$ ，当 $W_{gen}(i, j) \neq W_{ex}(i_1, j_1)$ 时，则需进一步判断 (i_1, j_1) 图像块的完整性，因此比较 (i_1, j_1) 图像块生成的水印 $W_{gen}(i_1, j_1)$ 和从 (i_2, j_2) 中提取的水印 $W_{ex}(i_2, j_2)$ 是否相等，如果 $W_{gen}(i_1, j_1) = W_{ex}(i_2, j_2)$ ，则判定 (i_1, j_1) 块图像块没有被篡改，由此回溯则可以推出图像块 (i, j) 被篡改，并且可以通过 (i_1, j_1) 图像块中嵌入的水印信息 $W_{ex}(i_1, j_1)$ 修复 (i, j) 图像块内容。依此类推，每块图像均可以通过这种链式结构进行篡改的检测与修复。

5) 由 (i_1, j_1) 图像块中提出的水印信息 $W_{ex}(i_1, j_1)$ 经逆置乱过程，恢复出原 (i, j) 棵小波树的编码数据 $C_{i,j}$ 。按照 1.2 节方法步骤 5) 生成 0,1 比特随机序列 $\{S_n\}$ 。由下式

$$C_{i,j}(k) = W_{ex}(i_1, j_1) \oplus S_k \quad k = 1, 2, \dots, r \quad (7)$$

可以得到编码数据，然后进行 SPIHT 解码，进而达

到恢复篡改数据的目的。

6) 重复步骤 4) 和步骤 5) 至所有的小波树完成检测和修复过程。

2 实验结果与性能分析

实验主要从自嵌入水印几个重要特性：不可见性、敏感性、可恢复性 3 个方面对算法性能进行了测试。

实验 1 水印不可见性评估

水印的不可见性和可恢复性是自嵌入水印性能相互矛盾的两个方面，因此在水印的不可见性和可恢复性之间存在着一个折衷。通过控制生成恢复水印时 SPIHT 编码的比特数测试了嵌入不等量数据信息时嵌入水印图像质量与恢复图像质量之间的关系，图像质量是以峰值信噪比进行衡量

的。由于编码至第 4 个比特平面时图像恢复后视觉效果不好,而编码至第 1 个比特平面时,嵌入数据量较大,导致水印图像信噪比值较低,仅对编码至第 2、3 比特平面的情况进行了测试,以 airplane(512 × 512, 8 bit/pixels) 图为实验对象,图 6 给出了编码至第 2、3 比特平面时,逐渐减少高频带编码系数个数时水印图像和恢复图像的 PSNR。可以看出对于恢复图像质量要求较高的应用,可以选择编码至第 2 个比特平面,对于侧重水印不可见性的应用,可以选择编码至第 3 个比特平面,显然在水印图像质量要求在 48.81 dB 与 50.07 dB 之间时,编码至第 3 个比特平面性能更好。

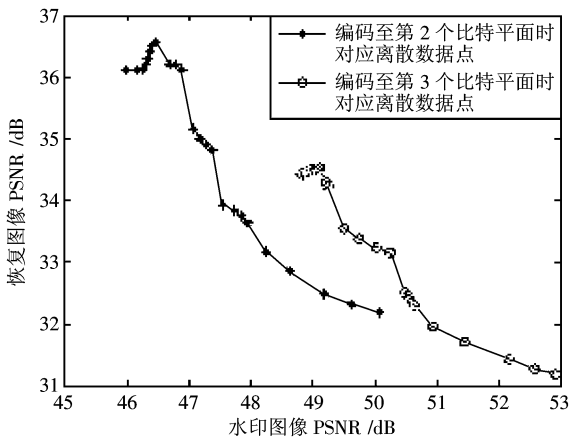


图 6 不同嵌入强度下嵌入水印图像与恢复图像质量关系图

Fig. 6 The relationship between watermarked image and restored image on different embedding intensities

实验 2 对比试验

采用 Fridrich、文献[5]和本文算法分别对具有不同纹理特征的标准灰度测试图像“Lena”,

“airplane”, “barara”, “milkdrop”(512 × 512, 8 bit/pixel)进行了实验,表 1 给出了 Fridrich 和文献[5]算法在形成恢复水印时分别以质量因子为 50%、75%、90%和 100%时的 JPEG 量化表对 DCT 系数进行量化的情况下嵌入水印图像和由全部水印数据解码重建的图像的 PSNR 以及由本文方法实现的结果。可见,采用本文方法得到的水印图像和恢复图像都具有较高的峰值信噪比值。

实验 3 敏感性测试

选取 butterfly(512 × 512, 8 bit/pixel)标准测试图像为实验对象,水印嵌入图像如图 7(a)所示, PSNR 为 52.72 dB,而 Fridrich 和文献[5]算法的水印图像的 PSNR 分别为 51.29 dB 和 51.37 dB。图 7(b)为局部被篡改图像,在蝴蝶右下方添加了一朵花。图 7(c)是水印检测结果图像,图 7(d)是水印修复篡改区域后的图像, PSNR 为 47.08 dB, Fridrich 和文献[5]算法恢复后的 PSNR 分别为 43.86 dB 和 45.93 dB。实验结果表明本文方法可以精确地检测和定位篡改的位置并且较好地恢复出原图。

实验 4 恢复图像质量评价

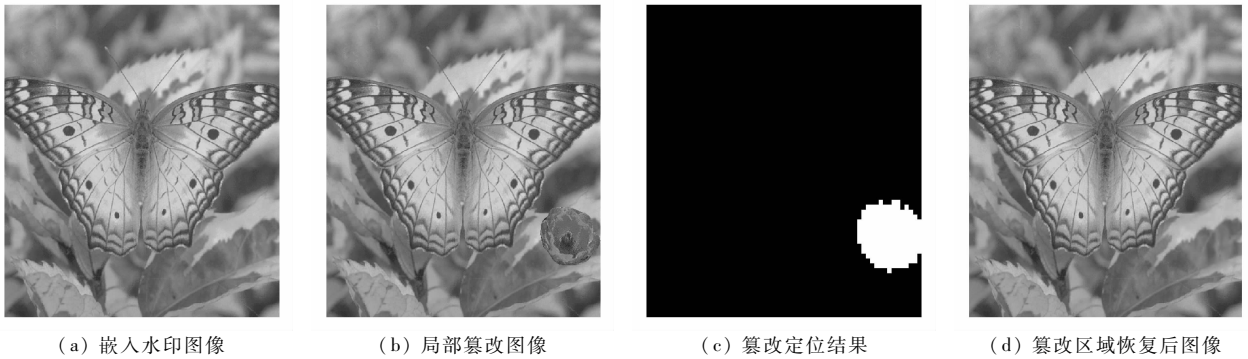
通过对比基于 DCT 变换的自嵌入水印算法和基于小波变换的本文算法所得到的恢复图像,对水印解码数据重建图像能力进行分析。前面通过峰值信噪比已经从客观方面对其进行了比较,下面从视觉角度主观方面对分别基于 DCT 和小波变换的方法进行评判。

图 8(a)、(c)、(e)分别为采用 Fridrich、文献[5]算法和本文算法恢复出来的图像的一部分,其 PSNR 分别为 31.54 dB、32.24 dB、32.25 dB,图 8(a)、(c)取

表 1 3 种自嵌入水印算法的性能比较 (PSNR/dB)

Tab. 1 The performance comparison of three self-embedding watermarking algorithms

测试图像		Fridrich 算法 质量因子 Q/%				文献[5]算法 质量因子 Q/%				本文算法
		50	75	90	100	50	75	90	100	
Lena	嵌入	51.14	51.15	51.14	51.14	51.14	51.14	51.13	51.14	53.41
	恢复	28.92	31.54	31.42	31.32	28.31	31.85	32.16	32.24	32.52
airplane	嵌入	51.15	51.14	51.15	51.15	51.15	51.14	51.14	51.14	52.91
	恢复	24.2	30.86	30.69	30.65	23.6	30.29	30.89	31.13	31.19
Barara	嵌入	51.15	51.14	51.14	51.15	51.16	51.16	51.16	51.15	51.47
	恢复	22.8	24.57	24.54	24.52	22.75	24.82	24.87	24.87	25.46
milkdrop	嵌入	51.14	51.15	51.14	51.14	51.13	51.15	51.14	51.14	54.85
	恢复	24.14	30.87	29.88	30.26	23.91	31.55	32.64	31.41	33.51



(a) 嵌入水印图像

(b) 局部篡改图像

(c) 篡改定位结果

(d) 篡改区域恢复后图像

图 7 局部篡改检测与恢复

Fig.7 The detection and restoration of local tampering



(a) Fridrich 方法水印数据解码图像



(b) 图(a)局域放大后图像



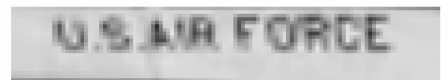
(c) 文献[2]算法水印数据解码图像



(d) 图(c)局域放大后图像



(e) 本文算法水印数据解码图像



(f) 图(e)局域放大后图像

图 8 水印数据解码恢复图像能力对比

Fig.8 The comparison of restored image by decoding data

自表 1 中测试图像为 airplane 时与最高 PSNR 相对应的恢复图像。可以看出,由 Fridrich 和文献[5]算法的恢复水印重建的图像不够清晰,细节部分比较模糊,有方块效应。为了更清晰地观察细节恢复部

分,图 8(b)、(d)、(f)分别为 3 种方法恢复出来的图像局部区域放大 3 倍后的图像。从实验结果可以看出,由于 Fridrich 和文献[5]算法在形成恢复水印时是基于 DCT 变换的,它们只能提供整个信号全部

时间或空间下的整体频域特性,而不能提供任何局部时间或空间段上的频率信息,而图像中的许多重要特征如边缘、纹理等,都是高度局部性的,因此它们在压缩含有这些突变信号与非平稳信号时较难取得好的压缩效果。与 DCT 变换不同,小波变换对于不同的频率成分在时域上的取样步长是调节性的,因此在实际应用中可以根据需要将图像或信号分解到一些合适的尺度上,然后再根据不同的要求作适当的编码,对于剧烈变换的边缘,比常规的 DCT 变换具有更好的适应性。因此本文在形成恢复水印时采用小波变换,从而有效克服了 DCT 变换在处理非平稳信号所存在的局限性和编码产生的方块效应,提高了恢复图像的主客观质量。实验结果表明,使用本文算法恢复出的图像不仅具有较高的图像峰值信噪比,而且图像在主观质量上也具有一定的优势。

3 结 论

在考虑视觉特性的基础上,给出了一种基于 SPIHT 编码的水印生成算法,并结合使用 Logistic 和 Cat 双重混沌映射,实现了一种基于整数小波变换的自嵌入水印算法。其算法特点是根据小波分解后小波系数的塔式层次结构选择图像的 DWT 重要系数进行 SPIHT 编码形成水印,并将其置乱加密嵌入到图像数据的低位,即实现了图像重要特征区域的有效认证,又使嵌入水印后的图像具有很好的视觉透明性;同时利用 SPIHT 编码和解码的思想,进一步提高了恢复图像的质量;Logistic 和 Cat 双重混沌映射的使用不仅保证了较大的密钥空间和较高的安全性而且能更有效地恢复篡改图像数据。最后通过对比分析几种算法的实验结果测试了本文算法的性能,对于平滑图像本文恢复图像视觉效果相对不明显,但对于细节较丰富的图像,无论是从视觉还是客观上都有不错的表现。

分析 SPIHT 编码位流长度特点,合理安排嵌入

策略,以便获得更好的性能,这将是下一步要做的工作。

参考文献 (References)

- [1] Fridrich J. Methods for tamper detection in digital images[C]// Proceedings of the ACM Workshop on Multimedia and Security. Orlando: ACM Press, 1999: 19-23.
- [2] Lin E T, Delp E J. A review of fragile image watermarks[C]// Proceedings of the Multimedia and Security Workshop at ACM Multimedia'99. Orlando: ACM Press, 1999: 25-29.
- [3] Wu M, Liu B. Watermarking for image authentication [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing. Chicago, Illinois, USA: IEEE Computer Society, 1998: 437-441.
- [4] Fridrich J, Goljan M. Protection of digital images using self embedding [C]// Symposium on Content Security and Data Hiding in Digital Media. Newark, NJ: New Jersey Institute of Technology, 1999.
- [5] Zhang Hongbin, Yang Cheng. Tamper detection and self recovery of images using self-embedding [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 34(2): 196-199. [张鸿宾, 杨成. 图像的自嵌入及篡改的检测和恢复算法[J]. 电子学报, 2004, 32(2): 196-199.]
- [6] Qian Zhenxing, Cheng yimin, Wang Yixiao, et al. A method of image self-embedding [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(7): 1347-1350. [钱振兴, 程义民, 王以孝, 等. 一种图像自嵌入方法[J]. 电子学报, 2006, 34(7): 1347-1350.]
- [7] Amir Said. A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees [J]. IEEE Transactions on CASVT, 1996, 6(3): 243-250.
- [8] Shapiro J M. Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficients[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445-3462.
- [9] Boliek M, Christopoulos C, Majani E. ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1646R JPEG2000 PartI Final Committee Draft (Version 1.0)[S]. Geneva: ISO/IEC, 2000.
- [10] Feng Qianjin, Chen Wufan. Image coding based on embedded block coding with optimized truncation of hierarchical trees[J]. Chinese Journal of Computers, 2002, 25(11): 1170-1174. [冯前进, 陈武凡. 基于内嵌块优化等级树 (EBOHT) 算法的图像编码[J]. 计算机学报, 2002, 25(11): 1170-1174.]