

# 一种基于 SPIHT 编码的自恢复脆弱水印算法

陈明举, 郝 明

(四川理工学院自动化与电子信息学院, 四川 自贡 643000)

**摘 要:** 文章提出了基于 SPIHT 编码的图像自恢复脆弱水印算法, 它对宿主图像进行 SPIHT 编码得到恢复水印, 由宿主图像第三层小波变换的低频带系数的大小关系产生认证水印。对恢复水印与认证水印进行置乱与纠错编码后嵌入到原灰度图像位平面编码的低两位。通过实验仿真证明该算法能定位图像篡改的位置, 且能恢复出被篡改位置的真实图像内容。

**关键词:** 数字水印; 篡改检测; 自恢复; SPIHT 编码

**中图分类号:** TN911.73

**文献标识码:** A

数字化信息在迅速高效传输给人们的同时, 也存在着潜在的风险, 恶意的个人与团体可能很容易修改信息, 因此需要对图像的完整性进行验证与内容的恢复。基于数字水印的认证技术是解决该问题的有效方法之一<sup>[1-2]</sup>, 认证水印不但能知道图像被篡改, 而且能定位篡改的位置, 但是不能恢复图像被篡改的信息。为了实现对篡改位置的恢复, 基于数字水印的图像篡改定位和恢复吸引了人们的注意, 它将代表本身图像特征的信息做为水印, 并嵌入到图像本身, 不仅能够检测出图像中篡改的位置, 而且还能利用隐藏在图像本身其他位置中的信息把篡改的地方进行恢复, 当水印图像被篡改时可以通过相应恢复图像对篡改部分进行恢复。在文献[3]中, 提出了一种基于嵌入式小波编码的图像自恢复脆弱水印算法, 它对图像进行分块小波变换与 SPIHT 压缩编码, 得到嵌入的恢复水印数据, 对水印的编码块进行置乱后再嵌入到图像灰度位平面编码的后两位。但由于对图像进行的是分块 SPIHT 压缩编码, 压缩后的图像在块与块之间会出现不连续, 影响图像的质量。因而本文对整过图像进行小波变换与 SPIHT 压缩编码后的数据作为恢复水印。在实现对图像的篡改定位方面, 以图像的三层小波变换后的低频带系数之间的大小关系生成篡改定位水印。恢复水印与定位水印都进行相应的置乱与纠错编码后嵌入到原始图像的像素的次低比特位与最低比特, 实现图像的盲检测与自恢复。

## 1 算法描述

### 1.1 水印的生成

小波系数之间的大小关系作为认证水印<sup>[4]</sup>, 首先对原始图像进行 3 层离散小波变换, 然后计算低频子带中的每个系数与相邻系数之间的相关性, 并记录下来。设大小为  $N \times N$  的图像, 对图像进行 3 层离散小波变换。设  $I_l^o(x, y)$  表示第  $l$  层小波变换  $o$  方向子带中的小波系数, 其中  $o = 0, 1, 2, 3$  分别表示低频、水平、垂直和对角各个方向。因为图像经过  $l$  层小波变换, 低频带是对原始图像的最佳逼近, 体现了图像的主要特征, 图像的能量主要集中在低频部分。在低频带的一个系数  $I_l^o(x, y)$  相对于原始图像在空间域的一个大小为  $2l \times 2l$  的图像块。

图 1 显示了认证水印由图像经过三次小波变换后低频带的相邻两个系数之间建立过程。图 1 中对  $I_3^0$  子带中的系数进行水平方向扫描, 当扫描到一行的结尾时就转变方向到下一行, 然后继续在水平方向进行扫描。依此类推, 直到四个子带的所有系数都进行扫描, 就可以得到系数的连接环。对于任意的系数对  $I_l^o(x, y)$  和  $I_l^o(x, y+1)$ , 它们的距离就可以表示为:  $d(x, y) = I_l^o(x, y) - I_l^o(x, y+1)$ 。系数的相关性可以通过下面的方式来记录: 如果  $d(x, y) \leq 0$ , 则记为 1; 否则记为 0 则得到二值相关值矩阵作为水印序列  $w_1(x, y)$ 。也就是说, 1 比特用来记录两个相邻系数之间的相关性。因为,

收稿日期: 2010-03-11

基金项目: 四川理工学院人才引进科研启动项目 (07ZR20)

作者简介: 陈明举 (1982-), 男, 重庆大足人, 讲师, 硕士, 主要从事信息处理方面的研究。

一个系数对应于原始图像的一个  $2l \times 2l$  的图像块。这些相关的数据位被集合在一起,看作是要嵌入的水印。

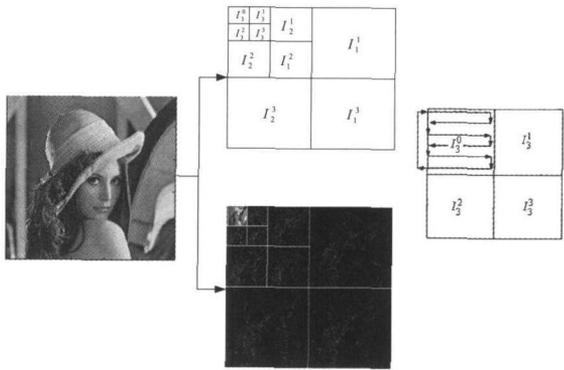


图 1 认证水印的生成原理图

由于要通过嵌入其中的恢复水印恢复出被篡改区域原来真的内容,因此要求原始图像必需参与进行恢复水印的制作,保留住原始数据。而灰度图像的数据量比较大,不能直接作为水印嵌入到自身,所以利用 SPHT 压缩算法对灰度图像进行压缩,以减少水印的嵌入量。

嵌入式小波零树编码算法 SPHT 是一个非常高效的基于小波变换的图像压缩算法<sup>[5-6]</sup>,它能够很好地利用小波变换系数的两个特点:人眼视觉特性和空间自相似性,重构图像的质量相当高,并且 SPHT 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;且 SPHT 编码是一种比特率(BR)可控制的编码,比特率越大压缩后的图像质量越好,比特率越小压缩后的图像质量较差。因此以 SPHT 编码生成的数据作为水印信号,可提高水印恢复图像的质量。

### 1.2 水印的嵌入

算法步骤如下:

(1)将  $M \times M$  大小的原始图像 I 的灰度值系数进行位平面分解,然后把最后两 bit 位平面位置为 Q 得到新位平面矩阵;在把分解的各个平面矩阵按公式合成得到新的图像  $I'$

(2)对图像  $I'$  进行 3 层小波变换,对低频带  $I'_3$ ,按低频带的大小关系生成认证水印  $w_1$ 。

(3)比特率控制在  $BR = 0.5bp$  下对图像  $I'$  将进行 SPHT 压缩编码,得到恢复水印  $w_2$ 。

(4)将认证水印  $w_1$  与恢复水印  $w_2$  依次排列得到水印  $w'$ ,将得到的水印  $w'$  进行置乱,增加其安全性。再将置乱后的水印进行 (7, 4) 汉明加密,以减少误码率。

(5)将置乱加密后的分块编码矩阵对应地嵌入到图像  $I'$  的次低位于最低位,得到含水印的图像。

整个嵌入流程如图 2 所示。

### 1.3 提取水印及自恢复

(1)将得到的含水印图像  $I$  的灰度值系数进行位平面编码,提取最后两个 bit 位的值,即得到置乱与纠错编

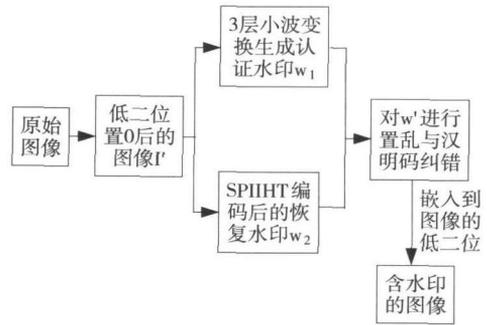


图 2 水印的嵌入过程

码后水印,再进行其反置乱与纠错解码得到认证水印  $w'_1$  与恢复水印  $w'_2$ 。

(2)将水印图像灰度值后两个 bit 位置 0 后,进行 3 层小波变换并由低频带的大小关系按上述方法产生特征水印  $w_1''$ 。

(3)  $w'_1$  与  $w_1''$  都是二序列,将其分别变成与低频带一样大的矩阵  $A, A'$ ,将  $A$  矩阵与  $A'$  矩阵做绝对差值得到差值矩阵  $B$ ,对矩阵  $B$  分成  $m \times n$  小块求和,设置一个阈值  $T$ ,若矩阵  $B$  中  $m \times n$  小块求和小于  $T$ ,则可以认为该块数据是真实的;若该块里有系数的和大于  $T$ ,则判定该系数位是出错位,而该出错位对应的嵌水印图像  $I'$  对应的  $8n \times 8n$  小块都标记为出错位。

(4)对恢复水印  $w'_2$  进行 SPHT 解码得到恢复水印图像  $I'$ ,用图像  $I'$  对于位置的灰度值去代替图像  $I$  出错位的灰度值,得到恢复后的图像。

整个过程如图 3 所示:

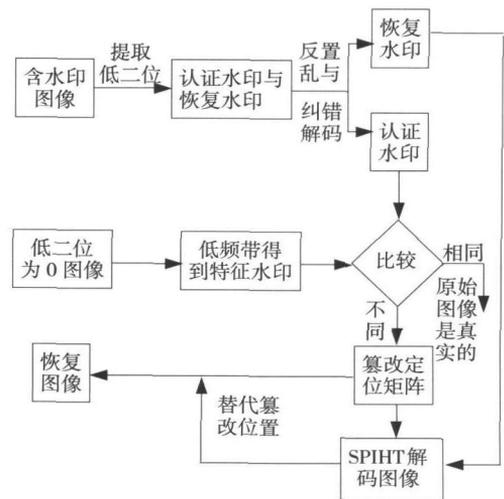


图 3 水印提取及恢复过程

## 2 实验结果与分析

实验中采用  $256 \times 256 \times 8$  大小的标准 Lena 灰度图像作为宿主图像,分别生成认证水印与恢复水印。认证水印按小波变换低频带的大小关系产生,生成的二值认

证水印如图 4(b)。其中对宿主图像进行比特率为 0.5 的 SPHT 压缩得到恢复水印如图 4(c), 与宿主图像 PSNR 为: 31.1650dB, 从视觉上也可以看出与原始图像有一些差别, 但是图像内容的特征已经被完整地保留下来了。对认证水印与恢复水印进行置乱与纠错编码处理后嵌入到宿主图像低二比特位中, 得到含水印的图片如图 4(d), 与宿主图像的 PSNR 为: 44.1560dB。



图 4 水印嵌入过程各个图像

对嵌入水印的图像分别进行篡改后如图 5(a), 从篡改后的图像中提取第二位的数据经反置乱与纠错解码后得到认证水印与恢复水印。再对篡改后的图片低二位置零进行 3 层小波变换由低频带产生特征水印, 特征水印与认证水印差值运算再分块求和与阈值处理得到误差矩阵, 对误差矩阵进行  $8 \times 8$  放大以确定被修改的位置, 放大后的误差矩阵如图 5(b)。对恢复水印进行 SPHT 解码的得到恢复水印图像如图 5(c), 与宿主图像的 PSNR 值为 29.3250, 通过误差矩阵, 用恢复水印图像去替换被篡改位置的像素值得到恢复后的图像, 与宿主图像的 PSNR 值为 39.3670。

### 3 结束语

从实验中可以看到本算法实现篡改图像自恢复功能, 恢复的图像在可视性效果从主观上是可以接受的。

## A Fragile Digital Watermarking Scheme with Abilities of Self-restoration Based on SPHT

CHEN Ming-ju, HAO Ming

(School of Automation and Electronic Information, Sichuan University of Science & Engineering Zigong 643000 China)

**Abstract** The paper presents a fragile watermark algorithm based on SPHT coding which utilizes SPHT algorithm to compresses the host image and obtain the self-correlative watermark, and takes the relations among coefficients of low frequency of wavelet domain as the authentication watermark. It also embeds the scrambled and error-correcting coded self-correlative watermark and authentication watermarking into the latter two bit of gray level in age's bitplane code. The simulation and experiment proves that the algorithm can accurately locate the jugged position and has good ability for self-recovery.

**Key words** digital watermarking; tamper detection; self-recovery; SPHT



图 5 对含水印进行剪切试验

本算法通过图像篡改必然会影响到图像小波域的低频带系数的大小关系, 当通过低频带系数的大小关系仍实现对图像的篡改定位; 采用 SHHP 编码对图像进行压缩编码, 用较少的数据较好的保留了图像的特征, 实现对被篡改的区域的恢复。所以, 本算法对恢复水印的进一步研究具有较好的指导与参考作用, 并具有一定的应用前景。

### 参考文献:

- [1] Cox I J, Miller M L, Bohn J A. 数字水印 [M]. 王颖, 黄志蓓, 译. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [2] 宋玉杰, 谭铁牛. 基于脆弱性数字水印的图像完整性验证研究 [J]. 中国图像图形学报, 2003 8(1): 1-7.
- [3] 何登平, 范鹏. 一种基于图像内容的自恢复水印算法 [J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2008 21(4): 77-79.
- [4] 陈明举, 范鹏. 一种基于离散小波变换的数字图像认证算法 [J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2008 21(4): 93-95.
- [5] 张旭东, 卢国冻, 冯健. 图像编码基础和小波压缩技术—算法和标准 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [6] 范文兵, 陈晖, 陈燕. 基于提升小波变换的 SPHT 编码算法研究 [J]. 计算机工程与应用, 2008 44(5): 38-42.