

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **2**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年2月 第17卷 第2期(总第190期)

目次

综述

内容感知图像缩放技术综述 施美玲,徐丹(157)

图像处理和编码

引入纹理相似性的纺织品图像增强 杨学志,田晓梅,方静,卢洁(169)

保持边缘特征和增强对比度的图像缩放算法 计忠平,方美娥,王毅刚,吴向阳(178)

以图像认证为目的的分形编码数字水印算法 黄晓晴,于盛林(183)

结合运动矢量和像素递归的全局运动估计方法 赵亚湘,刘少强,樊晓平(191)

无缝栅格数据小波金字塔构建 马伯宁,冷志光,汤晓安,匡纲要(197)

图像分析和识别

伪彩色空间完全非结构化道路检测方法 胡晓辉,孙苗强,苏晓许(203)

未知环境下机器人障碍物检测技术 王文格,武凯宾,朱江,段文彬,许重阳(209)

局部 GAC 模型在医学图像分割中的应用 张建伟,方林,陈允杰,詹天明,罗春燕(215)

判别割(Dcut)的图像分割及其快速分割算法 邹小林,陈伟福,冯国灿(222)

改进的遮挡条件下瞳孔检测方法 潘林,魏丽芳,郑炳锜,余轮(229)

木材显微图像的局部水平集分割方法 汪杭军,祁亨年(236)

关键点检测的线要素综合算法 黄志坚,张金芳,徐帆江(241)

GPU 加速的高分辨率 DEM 图像地形特征线提取算法 刘洲俊,胡包钢(249)

改进 GVF 的自动 Snakes 模型 周亚男,程熙,骆剑承,沈占锋,胡晓东(256)

曲波变换用于磨粒图像不变矩的提取 张云强,张培林,任国全,王国德,徐超,李兵(263)

图像理解和计算机视觉

深度图像中基于轮廓曲线和局部区域特征的3维物体识别 吴莉婷,张宇,杨一平,田原(269)

机载 LiDAR 数据的 LZD 航带平差 王丽英,宋伟东(279)

计算机图形学

基于 Z 曲线的瓦片地图服务空间索引 聂云峰,周文生,舒坚,许虎(286)

虚拟现实和增强现实

GPU 加速的台风可视化方法 秦绪佳,张勤锋,陈坚,郑红波,徐晓刚(293)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 2 期

2012 年 2 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱: jig@irsa.ac.cn

电话: 010-68407995 010-82614429

网 址: www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail: jig@irsa.ac.cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 2 February 2012

Contents

Review

Survey on content-aware image resizing techniques Shi Meiling, Xu Dan (157)

Image Processing and Coding

Enhancement of textile image with texture similarity Yang Xuezhi, Tian Xiaomei, Fang Jing, Lu Jie (169)

Edge-preserving and contrast-enhancement image scaling Ji Zhongping, Fang Mei'e, Wang Yigang, Wu Xiangyang (178)

Watermarking method on fractal coding for image authentication Huang Xiaoqing, Yu Shenglin (183)

Global motion estimation method with motion vectors and pixel recursion Zhao Yaxiang, Liu Shaoqiang, Fan Xiaoping (191)

Seamless wavelet pyramid construction for raster data Ma Boning, Leng Zhiguang, Tang Xiao'an, Kuang Gangyao (197)

Image Analysis and Recognition

Completely unstructured road detection for pseudo-color space Hu Xiaohui, Sun Miaoqiang, Su Xiaoxu (203)

Obstacle detection for robot in unknown environment
..... Wang Wenge, Wu Kaibin, Zhu Jiang, Duan Wenbin, Xu Chongyang (209)

Application of local GAC model for medical image segmentation
..... Zhang Jianwei, Fang Lin, Chen Yunjie, Zhan Tianming, Luo Chunyan (215)

Fast image segmentations of Deut Zou Xiaolin, Chen Weifu, Feng Guocan (222)

Improved method for the pupil measurement under occlusion Pan Lin, Wei Lifang, Zheng Bingkun, Yu Lun (229)

Segmentation method of wood microscopic image based on local level set Wang Hangjun, Qi Hengnian (236)

Algorithm of line generalization with key point detection Huang Zhijian, Zhang Jinfang, Xu Fanjiang (241)

High resolution DEM topographic feature line extraction algorithm using GPU Liu Zhoujun, Hu Baogang (249)

Automatic snakes model based on modified GVF Zhou Yanan, Cheng Xi, Luo Jiancheng, Shen Zhanfeng, Hu Xiaodong (256)

Invariant moment extraction by curvelet transform for wear particle images
..... Zhang Yunqiang, Zhang Peilin, Ren Guoquan, Wang Guode, Xu Chao, Li Bing (263)

Image Understanding and Computer Vision

Three-dimensional free-form object recognition based on contour curve and local surface patches in range images
..... Wu Liting, Zhang Yu, Yang Yiping, Tian Yuan (269)

Least Z-difference strip adjustment of airborne LiDAR data Wang Liying, Song Weidong (279)

Computer Graphics

Spatial index for tile map service based on Z curve Nie Yunfeng, Zhou Wensheng, Shu Jian, Xu Hu (286)

Virtual Reality and Augmented Reality

GPU accelerated typhoon visualization method Qin Xujia, Zhang Qinfeng, Chen Jian, Zheng Hongbo, Xu Xiaogang (293)

中图法分类号: TP309 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)02-0183-08

论文引用格式: 黄晓晴, 于盛林. 以图像认证为目的的分形编码数字水印算法 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(2): 183-190

以图像认证为目的的分形编码数字水印算法

黄晓晴, 于盛林

南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016

摘要: 以图像认证为目的, 提出一种基于分形编码的脆弱性盲水印算法。该算法将认证水印嵌入分形变换域, 又将分形编码参数作为水印嵌入到宿主图像中。算法能有效的检测图像是否被恶意篡改, 并能定位篡改区域。通过提取嵌入在图像中的分形编码参数, 还可以自动恢复被篡改区域。实验数据表明, 算法可行有效, 并且具有良好的篡改定位和恢复原图像的能力。

关键词: 分形图像编码; 脆弱性水印; 图像认证

Watermarking method on fractal coding for image authentication

Huang Xiaoqing, Yu Shenglin

College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China

Abstract: For image authentication, a fragile digital watermarking method is proposed. This method embeds watermarking into fractal transform, and embeds fractal coding parameters as watermark into the host image. It can not only locate altered areas, but also automatically recover the original image through extracting the fractal coding parameters. Experimental results show that the proposed method is capable of tamper localization, and effective for automatic recovery.

Key words: fractal image coding; fragile watermarking; image authentication

0 引言

数字图像是一类具有广泛代表性的多媒体信息, 它具有数据量大、冗余度高、易编辑和修改且格式繁多等特点, 但同时也存在被恶意篡改等风险, 这在某些特殊领域, 有可能造成严重后果^[1]。这就需要对图像的真实性(也称完整性)进行验证, 以证明所需要的图像是否真实。基于数字水印的图像认证技术是解决该问题的有效方法之一。目前, 数字水印用于图像认证的研究

已经成为数字水印和图像认证领域共同关注的热点问题。

1995年, Walton首次提出用脆弱数字水印的方法实现图像认证^[2], 这是该领域最早的文献之一, 虽然算法还不够安全, 篡改定位能力比较差, 但该方法原理简单, 为后来的研究指明了方向。此后, 出现了许多用于图像认证的数字水印方法^[3-11]。值得注意的是, 这其中有一类基于分形编码的脆弱性水印算法在图像认证中显示出良好的效果^[7-11]。

目前, 这类算法大致可分为两种: 一种通过

收稿日期: 2010-10-19; 修回日期: 2011-04-21

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2001047); 航空科学基金项目(04D52032)

第一作者简介: 黄晓晴(1979—), 女, 讲师, 南京航空航天大学自动化学院测试计量技术及仪器专业博士研究生, 主要研究方向为分形、图像处理、数字水印等。E-mail: sunnynuaa@163.com

对宿主图像的分形码进行分类来实现^[7-9],这类方法有一定的篡改定位能力,但不能自动恢复原图像;另一种则是利用分形图像压缩技术实现图像认证和自动恢复于一体的方法^[10-11]。由于分形图像压缩具有很高的压缩比,且重构图像效果好,编码信息可以作为水印嵌入到图像中。这种算法就是利用这一点,在确认篡改区域之后,将篡改区域的分形码提取出来,再根据分形码近似恢复被篡改区域。对于这类算法,水印嵌入算法和分形编码并没有关系,而水印信息的获取又必须通过分形编码,因此算法在分形编码上耗费了大量的时间。若能够在分形编码域嵌入水印,将分形编码参数的获取与水印嵌入在分形编码过程中同时进行,则可以真正实现将分形编码与脆弱性数字水印相结合的技术。

为此,提出一种将认证水印直接嵌入分形变换域,从而可以实现图像认证的脆弱性盲水印算法。同时又将编码过程中得到的分形编码参数作为水印嵌入到宿主图像中,在篡改定位的同时,还可以自动恢复原图像。实验结果表明,本文算法具有很好的篡改定位和图像恢复能力。

1 图像分形编码方法

1.1 基本分形编码方法

基于分块迭代函数系统 PIFS (partitioned IFS) 的分形块编码算法是由 Jacquin 提出的^[12]。这一算法为分形压缩方法的实用化起了奠基作用,此后有关分形图像编码的研究都建立在此基础上。

在基本分形编码算法中,图像被分割成大小不同的两类子块: Rang 块 (R 块) 和 Domain 块 (D 块)。其中, R 块互不重叠且覆盖整幅图像, D 块可以重叠且边长大于 R 块,通常是 R 块的两倍。 D 块经 4 邻域像素平均或间距采样收缩为 R 块的大小,这种子块的全体构成码本 Ω 。为改进图像质量,一般还要对码块 D 进行 8 种等距变换 (Jacquin 方案中提出 0° 、 90° 、 180° 、 270° 旋转变换和垂直中线、水平中线、 45° 、 135° 对角线反射变换)。

根据 PIFS 拼贴定理,通过寻找合适的仿射变换 $L: \Omega \rightarrow R$, 使得 $R_i \approx L_i(D_j)$, $D_j \in \Omega$ 。传统的仿射变换用下式表示:

$$L(D) = s\gamma(D) + oU \quad D \in \Omega \quad (1)$$

式中, $\gamma(D)$ 为等距变换, s 为对比度调节因子, o 为

灰度补偿因子, U 为灰度全为 1 的子块。对于每个 R_i 寻找其最佳匹配的 $D_{P(i)}$ 块, 根据最小二乘法准则, 得到最佳匹配的 s_i, o_i 。

每个 R 块的分形编码由 $\{k, p(i), s_i, o_i\}$ 4 个参数组成。 $P(i)$ 表示 R_i 的最佳匹配块的位置。 k 表示等距变换的类型, $k = 1 \sim 8$ 。 解码时, 利用仿射变换迭代式(2)作用于任何初始图像完成。

$$R^{(n)} = s\gamma(D^{(n-1)}) + oU \quad (2)$$

1.2 正交化分形编码方法

为提高解码速度, Oien 和 LepsOy 通过对编码过程算子的正交化处理, 使得解码的迭代过程可以在很有限的次数内收敛, 从而大大的提高了解码速度。

正交化处理后, 原来的对比度调节因子 s 和灰度补偿因子 o 分别被 R 块均值 \bar{R} 和对比度调节因子 s 代替。新的仿射变换迭代式成为

$$R^{(n)} = \bar{R}U + s\gamma(D^{(n-1)} - \bar{D}^{(n-1)}U) \quad (3)$$

此时, 新的分形编码参数为 $\{k, p(i), s_i, \bar{R}\}$ 。然而不同的编码参数造成解码过程的不同。从正交化分形编码的迭代式(3)可以看出, 经 n 次迭代的均值为

$$\begin{aligned} \bar{R}'^{(n)} &= \bar{R}\bar{U} + s\gamma(\overline{D^{(n-1)} - \bar{D}^{(n-1)}U}) = \\ &= \bar{R} + s\gamma(\bar{D}^{(n-1)} - \bar{D}^{(n-1)}) = \bar{R} \end{aligned}$$

因此, 正交分形编码的迭代过程具有 \bar{R} 均值不变性, 即 $\bar{R}'^{(n)} = \bar{R}'^{(n-1)} = \dots = \bar{R}'^{(1)} = \bar{R}$ 。

这一性质为水印的嵌入提供了可能, 目前也有一些基于此的分形编码水印算法^[13]。水印嵌入参数 \bar{R} , 在解码迭代过程中, 能一直保持原有水印信息不改变, 水印从而扩散到分形解码图像中。

2 基于分形编码数字水印的图像认证方法

第 1 节的描述证明了在正交化分形编码中, \bar{R} 均值在解码过程中是恒定不变的, 因此, R 块均值 \bar{R} 可以作为水印的载体。从图像认证的角度, 如果水印被嵌入到分形编码参数 \bar{R} 均值中, 当图像被恶意篡改时, \bar{R} 也将被改变, 那么嵌入其中的水印信息就有可能改变。

利用这一点, 提出一种通过改变 R 块均值嵌入水印的算法, 这种算法对 R 块均值的改变具有很强的敏感性, 是一种脆弱性数字水印。一方面, 在图像

中利用该算法,嵌入具有一定意义的二值水印,当图像受到恶意篡改后,提取被篡改图像的水印信息,再和原水印信息比较,就可以获得图像篡改的位置,实现篡改定位。另一方面,由于水印嵌入过程离不开分形编码,编码过程中得到的编码参数,也作为水印嵌入原图像。那么在篡改定位后,提取篡改区域的分形编码就可以恢复篡改区域,从而达到自动恢复原图像的目的。

2.1 分形编码数字水印算法

设宿主图像为 $I_{N \times N}$, 要嵌入的二值图像为 $W_{M \times M}$ 。宿主图像经正交分形编码得到的编码参数为 $\{k, p(i), s_i, \bar{R}\}$, $\bar{R} = \{\bar{R}_1, \bar{R}_2, \dots, \bar{R}_m\}$ 。二值水印 $W_{M \times M}$ 经预处理(置乱, 归一化等), 生成 0、1 序列 $\{w_i, i = 1, 2, \dots, m\}$ 。由于水印是二值图像, 像素值只有 0、1 两种情况, 故可通过对宿主图像中 R 块均值进行修改, 使其构成能够区分的 0、1 两种情况的特定关系, 即可实现水印的嵌入。

首先定义 R 块均值的预处理运算为

$$\bar{R}'_i = N(\bar{R}_i) \quad (4)$$

式中, $N(\bar{R}_i)$ 为预处理函数, \bar{R}'_i 表示预处理后的结果。

根据式(5)判断 \bar{R}'_i 和水印序列的关系, 得到 $\gamma = \{\gamma_i, i = 1, 2, \dots, m\}$ 。

$$\gamma_i = \text{XOR}(H(\text{mod}(\bar{R}'_i, 2)), H(w_i)) \quad (5)$$

式中, $\text{XOR}(\cdot, \cdot)$ 表示二进制数按位进行异或运算, $\text{mod}(x, y)$ 表示求 $\frac{x}{y}$ 的余数, $H(\cdot)$ 表示将十进制数转化成二进制数。这样序列 γ 将是一组由 0、1 组成的新的序列。利用序列 γ 对 \bar{R}'_i 按照式(6)进行修改, 使之满足式(7)。

$$\bar{R}^{w'}_i = \bar{R}'_i - D(\gamma_i) \quad (6)$$

$$\bar{R}^{w'}_i = \begin{cases} N(\bar{R}_i) & w_i = 0, \text{mod}(N(\bar{R}_i), 2) = 0 \\ N(\bar{R}_i) - 1 & w_i = 0, \text{mod}(N(\bar{R}_i), 2) = 1 \\ N(\bar{R}_i) - 1 & w_i = 1, \text{mod}(N(\bar{R}_i), 2) = 0 \\ N(\bar{R}_i) & w_i = 1, \text{mod}(N(\bar{R}_i), 2) = 1 \end{cases} \quad (7)$$

$\bar{R}^{w'}$ 通过 $N(\cdot)$ 的逆运算得到含水印信息的 R 块均值 $\bar{R}_w = \{\bar{R}_{w1}, \bar{R}_{w2}, \dots, \bar{R}_{wm}\}$, \bar{R}_w 的任一元素可表示为

$$\bar{R}_{wi} = N^{-1}(\bar{R}^{w'}_i) = N^{-1}(\bar{R}'_i - D(\gamma_i)) \quad (8)$$

式中, $N^{-1}(\cdot)$ 表示 $N(\cdot)$ 的逆运算, $D(\cdot)$ 表示将二进制数转化成十进制数。将新的含水印信息的 R 块

均值 $\bar{R}_w = \{\bar{R}_{w1}, \bar{R}_{w2}, \dots, \bar{R}_{wm}\}$, 代替原来的 R 块均值并进行分形解码, 即可得到含水印的分形编码图像。

提取水印时, 重新计算含水印图像的 R 块均值, 这里用 \bar{R}'_w 表示。然后, 根据式(9), 提取出水印序列 $\{w_i, i = 1, 2, \dots, m\}$ 。再根据水印图像的预处理方法, 采用逆过程, 即可得到水印图像。

$$w_i = \begin{cases} 0 & \text{mod}(N(\bar{R}'_{wi}), 2) = 0 \\ 1 & \text{mod}(N(\bar{R}'_{wi}), 2) = 1 \end{cases} \quad (9)$$

上述水印嵌入算法实现基于分形编码的脆弱性数字水印。但此时该算法还不具有对篡改区域自动恢复的能力。以下给出实现篡改区域自动恢复的方法。

在分形编码过程中得到的分形编码参数是对原图像信息的压缩, 反映了原宿主图像的信息。可以将分形编码参数进行量化, 将得到的量化参数作为水印嵌入到原图像中。

每个 R 块涉及的编码参数为 $\{k, p(i), s_i, \bar{R}\}$, 其中 $P(i)$, k 分别表示 R_i 的最佳匹配块 D 块的位置和等距变换的类型。 $P(i)$ 作为代表 D 块位置的信息, 为整数且取值最小为 1, 最大应为图像被分成的 D 块的个数, 而 k 表示 1~8 的整数。因此, 这两个参数可直接用二进制表示, 只有后两个参数需要量化。对于灰度图像, \bar{R} 一般可以量化为 $[0, 255]$ 间的整数, 而 s_i 的取值, 经实验表明, 其值大多分布在 $[-1, 1]$, 并且用 5 bit 或 7 bit 来量化时, 就可以得到较为理想的编码效果。具体说, 对于一幅 256×256 的 256 级灰度图像, 分形编码时, R 块尺寸为 4×4 , D 块尺寸为 8×8 。载体图像被分成 $64 \times 64 = 4096$ 块, 而 D 块池共有 1024 块。这样, 量化时 k 需要 3 bit, $P(i)$ 则最大为 1024, 就需要 10 bit, \bar{R} 为 $[0, 255]$ 的整数, 则需要 8 bit, s_i 则需要 5 bit, 这样, 每个 R 块编码参数为 26 bit。而原来每个 R 块共 16 个像素点, 这样, 就可以将宿主图像每个像素点的最低位和次低位用来存放编码参数, 从而实现编码参数的嵌入。

嵌入编码参数时, 必须将自身 R 块的编码参数嵌入到其他 R 块的位置上, 这样才能保证图像被篡改时, 篡改区域的原编码不会被破坏。实际嵌入时, 以 R 块为单位, 利用唯一的密钥来分配水印嵌入的位置, 使得每一 R 块包含其他 R 块的编码参数。

需要说明的是, 当分形编码参数嵌入到宿主图

像像素点的最低位和次低位时,势必会引起 R 均值的变化,这样就无法提取出认证水印。在设计该算法时考虑到这一点,预处理运算 $\bar{R}'_i = N(\bar{R}_i)$ 的一个作用就是能避免分形编码参数的嵌入造成 R 均值变化。也就是说,即便分形编码参数的嵌入使得 R 均值 \bar{R}_i 发生变化,但用于嵌入水印的参数 \bar{R}'_i 依靠预处理运算可以保证没有变化,这样就不会提取不出认证水印。式(10)是 $N(\cdot)$ 满足以上要求的最简单运算。

$$\bar{R}'_i = \lfloor \bar{R}_i / 4 \rfloor \quad (10)$$

当然, $N(\cdot)$ 不仅仅是为了满足这一需要,更重要的,通过该预处理可以提高水印的抗攻击性,使得攻击者即使在已知式(5)(6)的前提下,也难以判断水印具体的嵌入方法。否则,攻击者在篡改时只需要保证 R 均值的奇偶性不变,就可以成功实施篡改,使得认证水印不能反映篡改位置。上述整个水印嵌入的过程如图 1 所示。

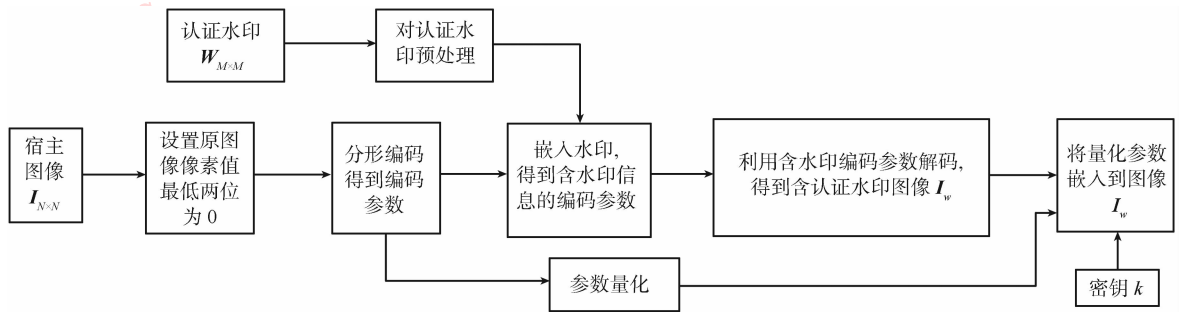


图 1 水印嵌入过程

Fig. 1 Process of embedding watermarking

嵌入认证水印时,由于原图像各点灰度值的最低两位需要用于嵌入分形编码参数,因此在嵌入认证水印之前,直接将其最低两位设置为 0。这样进行分形编码,才能使分形编码参数更准确的反映原图像的信息。

分形编码参数提取过程较为简单,只需直接取出图像像素点的最低位和次低位,再根据密钥 k 提取出量化参数。提取认证水印的过程如图 2 所示,提取认证水印时首先要设置图像像素点的最低两位为 0,再利用预处理函数 $N(\cdot)$ 求出 $\bar{R}'_{wi} = N(\bar{R}_{wi})$ 。

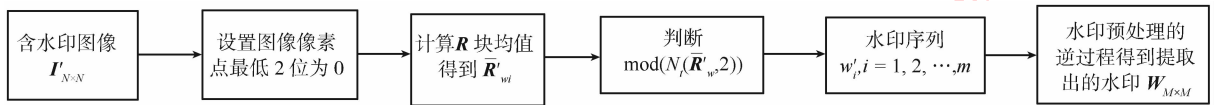


图 2 认证水印提取过程

Fig. 2 Process of extracting watermarking

2.2 图像认证及自动恢复方法

定位篡改区域时,先提取图像的认证水印,比较提取结果和原提取结果的差异,判断图像是否被篡改。若图像被篡改,则需要进一步定位篡改位置,然后再根据图像篡改位置提取该区域的分形编码参数以恢复原图像。

图像未被篡改时提取的水印序列记为 $W_0 = \{w'_i, i = 1, 2, \dots, m\}$, W_0 为 0、1 组成的二值序列。从待认证的图像中提取的水印序列记为 $W_T = \{w'_i, i = 1, 2, \dots, m\}$ 。利用式(11)计算得到 W 序列,

式中, \oplus 表示异或运算。序列中所有值为 1 的点对应的位置,即为 R 块均值发生变化的位置。再把这些 R 块中的所有像素点标记为被篡改的点,即确定了篡改区域。

$$W = W_0 \oplus W_T \quad (11)$$

确定图像的篡改位置以后,再从图像中提取图像的分形编码参数,对被篡改区域涉及的 R 块重新解码,用解码图像代替被篡改区域的图像,就可以恢复原图像。

图像篡改定位及恢复的过程如图 3 所示。

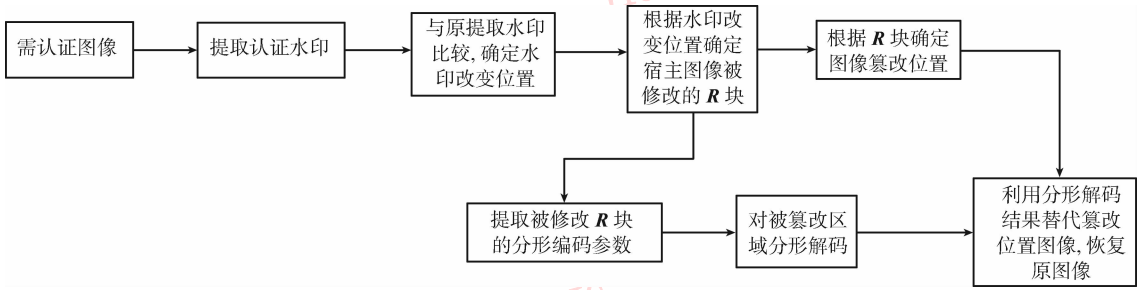


图 3 图像认证及自动恢复过程

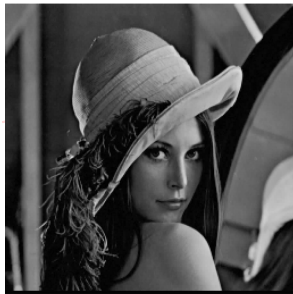
Fig. 3 Process of image authentication and recovery

3 仿真结果及分析

3.1 篡改定位及恢复情况

为证明本文算法的有效性,分别测试本文算

法的篡改定位能力和自动修复能力。实验中,分别对大小为 256×256 的 Lena, Couple 及 Barbara 图像进行测试。其宿主图像如图 4 所示。采用的认证水印尺寸为 64×64 的二值水印,如图 5 所示。



(a) Lena



(b) Couple



(c) Barbara

图 4 宿主图像

Fig. 4 Host images

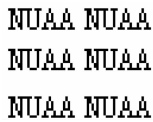


图 5 认证水印 NUAA

Fig. 5 Watermarking for authentication

分形编码时, R 块尺寸为 4×4 , D 块尺寸为 8×8 。载体图像被分成 $64 \times 64 = 4\,096$ 块,而 D 块共有 1 024 块。认证水印及分形编码参数均嵌入到宿主图像中的含水印图像如图 6 所示。分别对这 3 幅图像进行不同类型的恶意篡改,篡改后的图像



(a) 含水印 Lena



(b) 含水印 Couple



(c) 含水印 Barbara

图 6 含水印图像

Fig. 6 Watermarked images

如图 7 所示。这里,对 Lena 图任意添加了一部分信息,在其帽子上加了一朵花;对 Couple 的修改则是将图像中左边的花瓶复制到右边远处的餐桌上;而对 Barbara 的修改则是将图像桌子上的

物体移去。

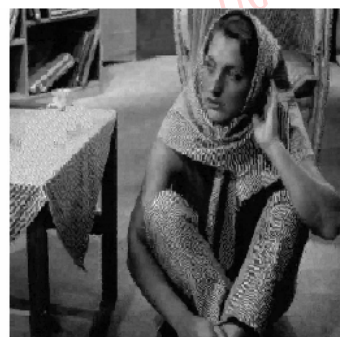
按照本文算法,对篡改后的图像进行篡改定位及恢复,提取出的认证水印如图 8 所示。最终的篡改定位及恢复的结果如图 9 所示。



(a) 篡改后 Lena



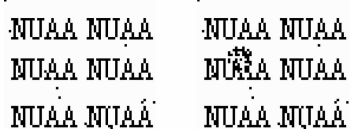
(b) 篡改后 Couple



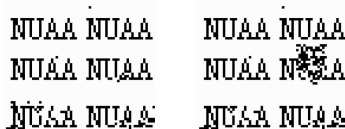
(c) 篡改后 Barbara

图 7 篡改后图像

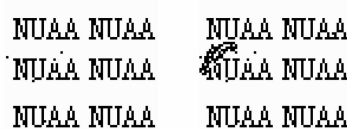
Fig. 7 Watermarked images with alteration



(a) Lena



(b) Couple



(c) Barbara

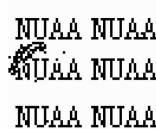
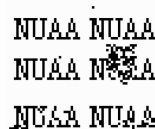
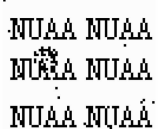
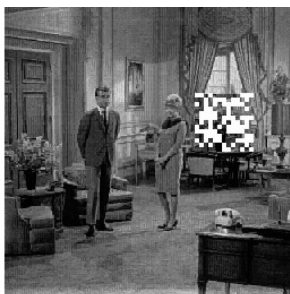


图 8 提取的认证水印(左者为篡改前结果,右者为篡改后结果)

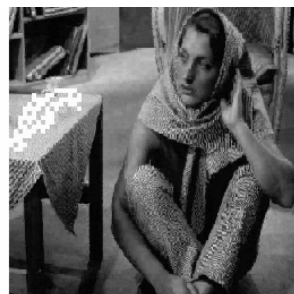
Fig. 8 Extracted watermarking for authentication (the former has not been altered, the late, altered)



(a) 篡改定位 Lena



(b) 篡改定位 Couple



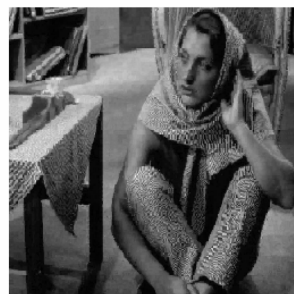
(c) 篡改定位 Barbara



(d) 恢复结果 Lena



(e) 恢复结果 Couple



(f) 恢复结果 Barbara

图 9 篡改定位及图像恢复结果

Fig. 9 Altered region and recovered images

从图8可以看出,提取出的认证水印反映了图像篡改的位置,图9则更进一步明确了篡改区域,并显示了恢复以后的结果。除了从直观上观察本文算法的篡改定位及自动恢复情况外,实验中,分别验证了分形编码压缩图像、含认证水印图像及篡改恢复以后的图像与原宿主图像之间的峰值信噪比,其结果如表1所示。

表1 篡改定位结果 PSNR 结果比较

Table 1 Comparison of PSNRs between host image and fractal image, watermarked image, recovered image

宿主图像	与分形编码 压缩图像 PSNR 1	与含认证水 印图像 PSNR 2	与篡改恢复 图像 PSNR 3
Lena	32.080 911	30.622 163	29.856 151
Couple	29.826 370	28.242 021	28.631 352
Barbara	26.715 128	26.129 115	26.603 753

从表中数据可以看出,含认证水印图像的PSNR值,与分形编码压缩图像的PSNR值相比,并没有很明显的下降。这说明,图像质量的下降主要来自于分形编码本身而不是水印的嵌入。而篡改定位并自动恢复的图像其PSNR值和含水印图像比则几乎没有变化,有的甚至比含水印图像还要高。这

说明本文算法有很强的篡改定位及恢复能力。而且从理论上也可以说明这一点:由于被篡改区域被原来的分形编码参数解码以后的结果代替,这些区域已经不含有水印信息,其图像质量的确有可能比含水印图像质量好。

3.2 与同类算法的结果比较

为验证本文算法在同类算法中的优越性,实验中将本文算法与文献[11]中的类似算法做了对比。实验时,用Lena图像作为宿主图像,分别用本文方法与文献[11]的方法嵌入水印,并对两幅含水印图像实施相同的篡改(在其帽子上加了一朵花并将Lena背部的一缕头发去掉)。

篡改后的图像及定位恢复的结果如图10所示。从图10所示结果可以看出,本文算法具有更好的篡改定位能力。与文献[11]相比,其自动恢复的图像更接近原图像(图10(d)中文献[11]方法恢复的图像无法恢复被去掉的头发),其效果明显优于文献[11]。由于文献[11]仅将图像重要区域(ROI)的分形编码参数作为水印,而Lena背部的头发不是其规定的ROI,因此无法恢复原图像。而本文方法可以很好的定位篡改区域,并能更准确的恢复原图像。



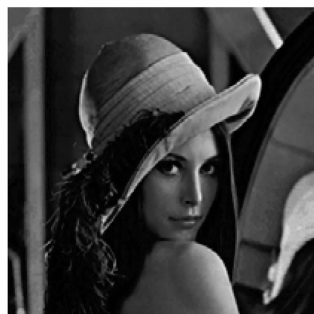
(a) 利用本文方法嵌入水印并篡改



(b) 利用本文方法篡改定位并恢复结果



(c) 利用文献[11]嵌入水印并篡改



(d) 利用文献[11]篡改定位并恢复结果

图10 本文算法与文献[11]算法篡改定位及恢复结果比较

Fig. 10 Comparison between the proposed method and mentioned in reference [11]

4 结 论

现公开发表的文献中虽有一些基于分形编码的图像认证方案,但数字水印的嵌入都不是嵌入到分形变换域,仅是利用了分形编码可以对图像进行压缩这一特点,以能自动恢复图像为目的,将分形编码参数作为水印信息进行嵌入。而本文算法真正将水印嵌入到分形变换域,是一种利用分形编码数字水印技术实现图像认证的新的尝试。该算法是一种集分形压缩编码与图像认证与一体的技术,同时还具有自动恢复能力。实验结果表明,本文算法是可行的,并具有较强的篡改定位及恢复能力。

参考文献 (References)

- [1] Zhang X H, Yang Y T. Image authentication scheme research based on fragile watermarking [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(1) : 34-39. [张宪海, 杨永田. 基于脆弱水印的图像认证算法研究 [J]. 电子学报, 2007, 35(1) : 34-39.]
- [2] Walton S. Image authentication for a slippery new age [J]. Dr. Dobbs's Journal, 1995, 20 (4) : 18-26.
- [3] Li C T. Digital fragile watermarking scheme for authentication of JPEG images [J]. Vision, Image and Signal Processing, 2004, 151(6) : 460-466.
- [4] Liao K C, Lee W B, Liao C W. Security of fragile watermarking scheme for image authentication [J]. Imaging Science Journal, 2006, 54(3) : 129-133.
- [5] Lin P L, Hsieh C K, Huang P W. A hierarchical digital watermarking method for image tamper detection and recovery [J]. Pattern Recognition, 2005, 38 (12) : 2519-2529.
- [6] Chang C C, Hu Y S, Liu T C. A Watermarking-based image ownership and tampering authentication scheme [J]. Pattern Recognition, 2006, 27(5) : 439-446.
- [7] Kiani S, Moghaddam M E. A Fractal Based Image Watermarking for Authentication and Verification [DB/OL]. (2009-10-30) [2010-12-13]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=5303946>.
- [8] Sulaiman A H, Baji F S. Fractal based fragile watermark [DB/OL]. (2010-01-15) [2010-12-13]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=5380203>.
- [9] Lian S G. Image authentication based on fractal features [J]. Fractals, 2008, 16(4) : 287-297.
- [10] He X F, Huang J F, Zhang G D. A fragile watermarking technology with self-correcting based on fractal compression [J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 8 (sup.) : 596-599. [何孝富, 黄继风, 张功燧. 一种基于分形压缩编码的脆弱性数字水印技术 [J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(增刊) : 596-599.]
- [11] Wang S S, Tsai S L. Automatic image authentication and recovery using fractal code embedding and image inpainting [J]. Pattern Recognition, 2008, 41 (2) : 701-712.
- [12] Jacquin A E. Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations [J]. Image Process, 1992, 1(1) : 18-30.
- [13] Pi M H, Li C H, Li H. A novel fractal image watermarking [J]. IEEE Transactions on multimedia, 2006, 8(3) : 488-499.