

一种在正交化分形压缩图像中嵌入灰度水印的方法

黄晓晴 于盛林 冯 强

(南京航空航天大学自动化学院,南京 210016)

摘 要 传统的基于分形编码的水印技术一般采用0,1码,没有实现灰度图像的嵌入。本文在研究正交化分形编码的基础上,构造出水印嵌入变换函数,提出了一种能够嵌入灰度图像的分形编码水印算法,且水印提取速度大大加快。利用正交化分形解码参数在迭代过程中的不变性,使水印直接嵌入解码参数,从而实现了灰度水印嵌入。实验结果和数据表明,水印嵌入对宿主图像分形编码质量几乎没有影响,具有可行性。与传统算法相比,本文算法在抗剪切处理、低通滤波、JPEG压缩等方面具有更好的鲁棒性。

关键词 分形图像编码 数字水印 分形正交变换

中图法分类号: TP309 TN919 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2009)06-1124-07

A New Method for Embedding Gray Image Watermarking into Orthogonal Fractal Compression Image

HUANG Xiao-qing, YU Sheng-lin, FENG Qiang

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016)

Abstract The traditional watermarking techniques based on fractal coding is generally using 0, 1 sequence as the watermark. This does not implement embedding gray image as the watermark. Based on orthogonal fractal coding, a new fast watermarking technique is proposed in this article which can embed gray images. Just because the orthogonal fractal decoding is a mean-invariant iteration, the watermark can be embedded into the fractal decoding parameters directly. Experimental results show that gray image's embedding hardly does not have any effect on the fractal decoding image. And also, this scheme is better than the traditional techniques on being robust against many attacks such as cutting, low-passing filtering, and JPEG compression.

Keywords fractal image, coding digital watermark, fractal orthogonal transform

1 引 言

数字水印技术作为一种有效的数字产品版权保护和数据安全维护技术,近年来引起了人们的极大关注,并逐渐成为国内外的研究热点。目前,以图像为载体的数字水印技术是水印技术研究的重点之一,提出了基于空间域、变换域和压缩域的多种算法^[1]。

将分形技术应用于图像压缩编码的研究是近15年发展起来的一种图像压缩方法^[2]。随着分形图像自动编码算法的不断改进,编码速度过慢的缺点得到改善,分形压缩比高的特点更为突出,使得分形在图像压缩编码中占据越来越重要的地位。利用分形编码中某些参数的不变性,可以实现数字水印的嵌入和提取。分形压缩水印技术是一种集压缩与水印嵌入于一体的技术,也是当前数字水印技术研究的一个重要方向,并且已取得了一些初步的成果。1996年,Paute和Jordan提出了一种基于分形图像

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)

收稿日期:2007-10-12;改回日期:2008-02-22

第一作者简介:黄晓晴(1979~),女,南京航空航天大学电工电子实验中心讲师,南京航空航天大学测试计量技术与仪器专业博士研究生。主要研究方向为图像处理,分形信号处理,测控技术等。E-mail:sunnynuaa@163.com

编码理论的数字水印技术^[3]。这种传统的基于分形图像编码的数字水印技术利用了值域子块的最佳匹配子块的位置不变性,根据最佳匹配子块所处的寻找区域来嵌入和提取有意义的水印。接着,又有许多学者提出了其他算法,但这类算法大都是在传统方法上的改进。虽然这类方法提供了利用分形编码在图像压缩过程中嵌入水印的一种有效途径,但这类方法都是采用0,1序列码作为水印,在应用上也有一定的局限性^[1]。而且,由于数字水印的嵌入和读取过程包含分形压缩编码和解码过程,因此,水印嵌入和提取的速度很慢,时间过长。

与传统的分形编码水印算法不同,本文提出了一种改变编码参数实现水印嵌入的分形编码水印算法。该算法实现了传统算法没有实现的灰度水印嵌入问题,水印提取速度也较传统方法快。本文利用值域块均值这一正交分形编码参数的迭代过程不变性,构造了嵌入变换函数,将水印直接嵌入分形解码参数。接着又给出了水印嵌入、提取的过程,从而实现了灰度水印图像嵌入。实验数据表明,水印嵌入对原图像的分形编码质量几乎没有影响,水印的抗攻击优于传统算法。

2 正交化分形图像编解码算法

1990年, Jacquin提出了基于分块迭代函数系统(PIFS)的分形块编码算法^[4],这一算法对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 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 旋转变换和垂直中线、水平中线、 $45^\circ, 135^\circ$ 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组 $L: \Omega \rightarrow R$,使得 $R_i \approx L_i(D_j), D_j \in \Omega$,其中 R_i, D_j 分别属于R块,D块的某一图像块, L_i 表示对应该 R_i 块的仿射变换。传统的仿射变换用式(1)表示。

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

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 $\{k, p(i), s_i, o_i\}$ 四个参数组成。 $p(i)$ 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, D 的上标表示迭代次数。

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

为提高解码速度,Øien和LepsØy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,从而大大地提高了解码速度^[5-6]。

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^[7]。仿射变换式成为 $L(D) = \bar{R}U + s\gamma(D - \bar{D}U)$ 。这里 $U, \gamma(D - \bar{D}U)$ 做内积,即

$$(U, \gamma(D - \bar{D}U)) = (U, \gamma(D)) - \bar{D}(U, \gamma(U)) = 0$$

所以仿射变换 $L(D)$ 转换成正交变换。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^[7]。

为了比较正交化解码迭代式与非正交化迭代式的不同,将灰度补偿因子 o 用R块均值 \bar{R} 和对比度调节因子 s 表示,非正交化的解码迭代式(2)可转换为

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

而正交化的解码迭代式为

$$R'^{(n)} = \bar{R}U + s\gamma(D^{(n-1)} - \bar{D}^{(n-1)}U) \quad (4)$$

式(3)中, \bar{D} 是常量,在迭代过程中不变,而正交化迭代式(4)中, $\bar{D}^{(n-1)}$ 随着迭代过程变化,因此,正交化解码的速度要比非正交化方法快,具体证明见文献[8]。

3 基于正交化分形编码的灰度水印算法

传统的基于分形的水印嵌入方法,大都在非正交化编码的基础上,根据最佳匹配子块所处的寻找区域嵌入和提取水印,没有通过改变编码参数实现水印嵌入^[3,9-10]。从式(2)可以看出,非正交化分形编码中,参数 s_i, o_i 依赖于D块码本 Ω 。若在该参数中嵌入水印,当分形压缩图像受到攻击时,其D块码本 Ω 与原图像的D块码本很可能不同,参数 s_i, o_i 也会不同。因此,利用非正交化迭代,改变分形编码

参数嵌入水印的方法并不可行。而从正交化分形编码的迭代式(4)可以看出,经 n 次迭代的均值 $\overline{R^{(n)}}$ 为

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

因此,正交分形编码的迭代过程具有 \overline{R} 均值不变性,即

$$\overline{R^{(n)}} = \overline{R^{(n-1)}} = \dots = \overline{R^{(1)}} = \overline{R}.$$

这一性质为水印的嵌入提供了可能。水印嵌入参数 \overline{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。

3.1 基于正交化分形编解码的灰度水印嵌入变换

灰度水印嵌入的关键问题在于如何将水印信息嵌入 R 块均值 \overline{R} ,使之能够保证含水印分形编码的质量,又能够使水印有良好的抗攻击性。

宿主图像 $I_{N \times N}$ 为 256 级灰度图像,其 $\overline{R} = \{\overline{R}_1, \overline{R}_2, \dots, \overline{R}_m\}$, m 表示 R 块个数。水印图像为 $M \times M$ 大小的 256 级灰度图像 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_{M \times M}\}$ 。由于宿主图像与水印有相同的灰度级,若 W 直接作用于 \overline{R} ,即 $\overline{R}_w = \overline{R} + W$,显然, \overline{R}_w 已不具备宿主图像的信息。对 W 归一化,使得对于任意像素点 w_i ,满足 $0 \leq w_i \leq 1$ 。这样虽能降低对宿主图像的影响,但经过归一化, \overline{R}_i 的值越小, w_i 值越大(例如 $\overline{R}_i = 1, w_i = 1$ 时),则水印对解码参数 \overline{R} 的影响也越大。因此,这种直接作用于 \overline{R} 的方法不能实现灰度水印嵌入。

为不影响嵌入水印的分形压缩图像质量,显然要尽量减小水印嵌入对 \overline{R} 参数的影响。本文给出如下嵌入算法。

设宿主图像 $I_{N \times N}$,经正交分形编码得到参数 $\{k, p(i), s_i, \overline{R}\}$, $\overline{R} = \{\overline{R}_1, \overline{R}_2, \dots, \overline{R}_m\}$ 。定义 $\mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}$ 域上的嵌入变换函数 $\psi(\tilde{w}_i, \overline{R}_i, \alpha_i)$:

$$\begin{aligned}\overline{R}_{wi} &= \psi(\tilde{w}_i, \overline{R}_i, \alpha_i) \\ &= \frac{\overline{R}_i(1 + \alpha_i \tilde{w}_i)}{(1 + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \alpha_j)}, i = 1, 2, \dots, m\end{aligned}\quad (5)$$

式中, \tilde{w}_i 为灰度水印 W 经预处理后得到的水印向量分量, $\tilde{W} = \{\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_m\}$ 。且对于任意 $\tilde{w}_i, i = 1,$

$2, \dots, m$, 满足 $0 \leq \tilde{w}_i \leq 1$; \overline{R}_w 为嵌入水印后 R 块均值的集合,记为: $\overline{R}_w = \{\overline{R}_{w1}, \overline{R}_{w2}, \dots, \overline{R}_{wm}\}$ 。

变换式(5)中 $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\}$ 为水印嵌入强度因子,由向量 \tilde{W} 决定。定义 α_i 为

$$\alpha_i = \begin{cases} \lambda, & 0.5 \leq \tilde{w}_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, m \\ 2\lambda, & 0 \leq \tilde{w}_i < 0.5, i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad \lambda \in (0, 1)\quad (6)$$

从式(6)可以看出,强度因子 α 约束了 \overline{R}_w 的变化范围。中间变换 $\overline{R}_i(1 + \alpha_i \tilde{w}_i)$,使得 \overline{R}_i 在 $(1, 1 + \lambda)$ 倍的范围内变化,这样将会带来解码图像整体亮度的改变。为降低这种影响,于是再用 α 均值对 \overline{R} 整体调整,从而得到更接近 \overline{R} 的解码参数 \overline{R}_w 。这样,用分形解码参数 $\{k, p(i), s_i, \overline{R}_w\}$ 解码,就可得到嵌入水印的分形压缩图像。

式(5)要求水印序列 \tilde{W} 与 \overline{R} 等长,首先 W 要经间距采样收缩或补零放大,使之与 \overline{R} 等长。为提高水印的抗攻击性,对 W 做置乱处理,最后,进行归一化操作,生成水印序列 \tilde{W} 。最终,嵌入水印的正交分形迭代式为

$$R_w^{(n)} = \overline{R}_w U + s\gamma(D^{(n-1)} - \overline{D^{(n-1)}})U\quad (7)$$

式中, R_w 为嵌入水印后的 R 块。

提取水印的过程就是嵌入变换的逆过程。计算含水印图像的各 R 块均值,经式(5)反变换即可得到。水印嵌入过程产生的 α ,在提取和嵌入过程中不可缺少。

从提取过程不难发现,水印提取时,仅需要计算 R 块均值和式(5),不需要再进行分形编码,也没有迭代过程。Paute 和 Jordan 所描述的传统水印分形编码方法^[2]中,水印提取过程即是分形编码的过程,提取速度很慢,因此,本文方法的提取速度较之传统方法有明显加快。

此外, λ 取值决定了水印嵌入的强度。 λ 值越大,水印嵌入的强度越大,进而对宿主图像的影响也越大。因此,如何选取合适的 λ ,使得如何保证嵌入水印的图像质量和一定的水印嵌入强度这两者达到平衡成为关键。而且,不同的灰度水印,对 λ 取值要求也不同。本文在第 4 节的实验中,给出了 λ 取值对图像质量的具体影响。

3.2 水印嵌入、提取过程

根据以上叙述,第 4 节提出的嵌入算法步骤如下:

(1) 宿主图像通过正交化分形编码,得到编码

参数 $\{k, p(i), s_i, \bar{R}\}$;

(2) 将灰度水印图像转换成与宿主图像的 \bar{R} 向量等长的水印序列;

(3) 对水印序列进行置乱、归一化操作,生成满足式(5)定义域要求的水印序列 \tilde{W} ;

(4) 确定 λ 取值,根据式(6)计算强度因子 α ;

(5) 根据式(5)计算 \bar{R}_w ;

(6) \bar{R}_w 替代 \bar{R} , 含水印的码本参数 $\{k, p(i), s_i, \bar{R}_w\}$ 代入式(7), 得到嵌入水印的分形压缩图像。

水印提取时, 只需计算含水印图像的 R 块均值, 再用嵌入变换的逆变换 $\psi^{-1}(\bar{R}_w, \bar{R}_i, \alpha_i)$ 即可提取出水印。整个提取过程如下:

(1) 计算含水印图像 $I_{N \times N}^*$ 的 R 块均值 \bar{R}_w^* ;

(2) 将 $\bar{R}_w^*, \bar{R}, \alpha$ 带入嵌入变换逆变换, 提取水印序列 \tilde{W}^* ;

(3) 根据嵌入时预处理方法将 \tilde{W}^* 恢复为原始水印序列 W^* 。

4 实验结果及分析

4.1 水印嵌入

仿真实验中, 用三幅大小为 256×256 的典型 256 级灰度图像作为宿主图像(如图 1 所示)。用 64×64 的 256 级灰度, 具有不同纹理, 不同平均像素值的图像作为水印, 图 2 为三幅水印图像以及水印经置乱后的结果。

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 块共有 1024 块。未加水印前, 三幅宿主图像经正交分形编码参数 $\{k, p(i), s_i, \bar{R}\}$ 解码后得到的分形解码图像如图 3 所示。

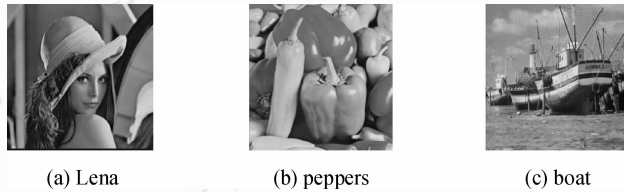


图 1 宿主图像
Fig. 1 Host image



图 2 不同纹理特征的灰度水印及置乱结果

Fig. 2 Gray image watermarks with different texture and disordered

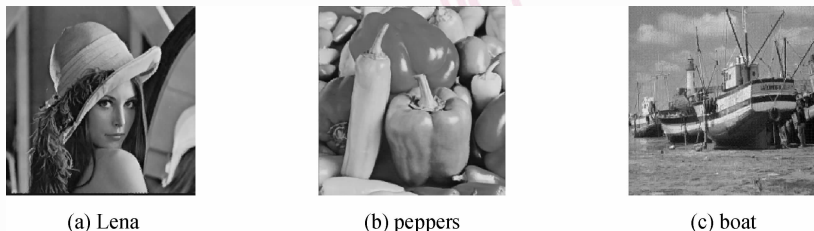


图 3 分形解码后的图像
Fig. 3 Fractal decoded images

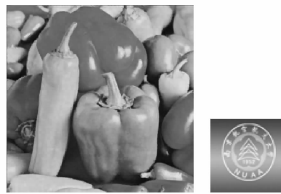
在三幅宿主图像中分别嵌入图 2 所示的三种水印进行了实验,但由于篇幅所限,没有给出全部结果。以 peppers 图像为例,给出 peppers 图像分别加入图 2 三种水印的结果。实验中, λ 取 0.1,结果如图 4 所示。



(a) 嵌入水印1



(b) 嵌入水印2



(c) 嵌入水印3

图 4 peppers 嵌入水印后的图像

Fig. 4 Embedded watermark in peppers

利用峰值信噪比 (PSNR) 评判水印嵌入后对宿主图像的影响。表 1 为实验结果,其中 PSNR1 表示原始图像与分形编码图像的峰值信噪比,PSNR2 为嵌入水印的分形编码图像与原始图像的峰值信噪比。

表 1 各宿主图像嵌入不同水印的峰值信噪比

Tab. 1 The PSNR between every original image and fractal image embedded different watermarking image

宿主图像	未嵌入水印时 PSNR1	水印 1 PSNR2	水印 2 PSNR2	水印 3 PSNR2
Lena	32.080 911	31.611 595	30.984 701	31.757 520
peppers	34.569 235	33.544 227	30.384 317	33.880 512
boat	25.816 072	25.646 259	24.996 742	25.701 467

从表 1 数据可以看出,加入水印后图像的峰值



(a) 未受攻击时,提取水印结果 NC=1



(b) 经 10:1 JPEG 压缩后,提取水印结果 NC=0.980 742

图 5 受攻击前后提取水印结果

Fig. 5 Extraction result before and after attacked

信噪比并没有发生明显变化,说明本文算法对分形编码后的图像质量几乎没有影响。

根据目前文献,并没有看到嵌入有意义灰度图像的分形水印算法。本文给出的水印图像 2 是一种二值图像,因此,和传统算法中嵌入的 0,1 序列是一致的,这样本文算法和传统算法就有了可比性。表 2 为本文算法与传统算法在嵌入相同的水印图像 2 时,原始图像与嵌入水印图像的 PSNR 值比较结果。

表 2 嵌入水印后图像质量的比较

Tab. 2 Comparison with different method for peppers image embedded watermark 2

	本文算法	传统算法	传统改进算法
PSNR	30.984 701	28.645 201	30.149 028

表 2 数据表明,用本文算法嵌入水印的分形压缩图像质量明显优于其他两种算法。表 2 所指的传统算法是用 Paute 和 Jordan 提出的算法^[3]计算得到的结果,传统改进算法是指文献[10]中阐述的方法。

4.2 水印抗攻击性实验

除了对提取到的水印与原始水印进行观察比较外,本文用归一化互相关系数 (NC) 这一定量指标来衡量提取水印与原始水印的相似度。如果嵌入水印的图像没有受到攻击,自然可以提取出水印,而且得到的水印几乎没有损失 (NC = 1)。本文对多幅图像进行了多种攻击测试,包括进行中值滤波、加噪声、几何尺寸变换、JPEG 压缩等。实验结果表明,本文算法能够较好地抵抗各种攻击,具有较强的鲁棒性。

图 5 所示为 Lena 图像在嵌入水印 1 时,未受攻击和经 10:1 JPEG 压缩后提取水印结果的比较。表 3 给出 Lena 图像及 peppers 图像在嵌入三幅不同水印图像,受到不同攻击情况的对比。

表 3 水印信号在各种攻击下的提取结果(归一化互相关系数 NC 值)

Tab. 3 NCs for extracted watermark against many attacking methods

对含水印图像的 攻击方法	Lena			peppers		
	水印 1	水印 2	水印 3	水印 1	水印 2	水印 3
未受攻击	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000
10:1JPEG 压缩	0.980 742	0.975 987	0.982 654	0.996 892	0.990 339	0.996 582
5:1JPEG 压缩	0.998 046	0.966 326	0.998 535	1.000 000	0.967 154	0.999 756
放大两倍再还原	0.999 949	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000	1.000 000
加高斯噪声	0.788 245	0.867 237	0.808 283	0.817 873	0.899 255	0.829 418
加椒盐噪声	0.933 080	0.986 751	0.949 714	0.928 985	0.989 511	0.942 951
锐化	0.993 974	0.928 236	0.995 117	0.992 280	0.900 359	0.994 452
缩小 1/2 再还原	0.872 708	0.918 024	0.883 481	0.931 023	0.953 630	0.936 160
中值滤波	0.960 014	0.980 403	0.966 065	0.995 360	0.998 344	0.994 468

最后,本文算法与文献[9]的算法做了比较。图 6 为嵌入水印的分形压缩图像和水印图像以及提取水印的结果。本文运用和文献[9]相同的 512 × 512 的 Lena 图像作为宿主图像,64 × 64 的如图 6(b)

所示的二值图像作为水印。表 4 为本文算法与文献[9]的算法抗攻击性比较结果。表 4 数据表明,本文算法明显优于文献[9]的算法。



(a) 嵌入水印后的Lena图像



(b) 水印图像



(c) 未受攻击时水印提取结果

图 6 利用本文算法嵌入文献[9]的水印结果

Fig. 6 Embedded the same watermark with literature [9] using the proposed method

表 4 本文算法与文献[9]的算法比较结果

Tab. 4 Comparison between the proposed method and mentioned in literature [8]

攻击方法		本文方法 (NC)	文献[9]方法 (NC)	攻击方法		本文方法 (NC)	文献[9]方法 (NC)
锐化	锐化	0.999 6	0.977 5	JPEG 压缩	压缩比 6	0.996 8	0.995 5
	5 次锐化	0.947 2	0.644 1		压缩比 8	0.993 6	0.995 5
剪切	剪切 10%	1.000 0	0.783 8		压缩比 12	0.976 4	0.950 5
	剪切 15%	1.000 0	0.955 0		压缩比 16	0.968 8	0.945 9
	剪切 25%	1.000 0	0.950 9		压缩比 19	0.957 2	0.941 4
	剪切 50%	1.000 0	0.941 4				
	剪切 75%	1.000 0	0.720 5				

4.3 λ 取值对正交化分形编码水印算法的影响分析

根据第 3.1 节叙述,λ 取值越大,水印嵌入强度越大,抗攻击性越强,但分形压缩图像的质量也会越

差。如何选取合适的 λ,对水印嵌入的质量影响很大。而且,不同的灰度水印和宿主图像,对 λ 取值要求也不同。本文以不同的 λ 取值,分别在 Lena 图像中嵌入水印 1,2,3,并分析得到含水印分形编码

图像与原图像间峰值信噪比的变化。图 7 给出了含水印图像质量随 λ 取值的变化曲线。

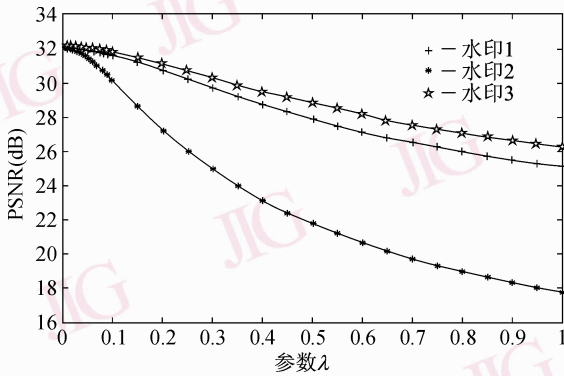


图 7 λ 取值对正交化分形编码水印图像的影响曲线

Fig. 7 The effects of λ on watermarked image based on orthogonal fractal coding

图 7 数据表明,本文算法在嵌入灰度图像(水印 1,3)时,得到的分形压缩图像质量明显优于嵌入二值图像的情况。嵌入灰度图像时,图像质量随 λ 取值增大时下降也较为缓慢。由此,表明本文算法在处理灰度水印方面有优越性。

5 结 论

分形编码和数字水印技术的结合,是一种集图像压缩和版权保护于一体的技术,是分形编码和数字水印领域的一种新颖的探索^[1]。本文算法与传统算法完全不同,在正交化分形编解码算法的基础上,构造了嵌入变换函数,实现了在分形编解码参数中直接嵌入水印信息,解决了分形域灰度水印图像的嵌入问题。此外,现有的分形水印算法在水印提取时,都需要分形编码,因此,速度很慢,本文算法在水印提取时不需要分形编码,因而提取速度加快。

实验结果表明,本文算法能够有效实现,与传统算法相比,具有更好的抗攻击性。

参考文献 (References)

- 1 Wang Bin-xi, Chen Qi, Deng Feng-sen. Technology of Digital Watermarking [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2003: 26-77. [王炳锡,陈琦,邓峰森.数字水印技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2003:26-77.]
- 2 Chen Zuo-ping, Ye Zheng-lin. Fast fractal coding technique based on K-mean clustering [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, **12**(4): 586-591. [陈作平,叶正麟.基于K均值聚类的快速分形编码方法[J]中国图象图形学报,2007,**12**(4):586-591.]
- 3 Paute J, Jordan F. Using fractal compression scheme to embed a digital signature into image [A]. In: Proceedings of SPIE Photonics East Symp Osium[C], Boston MA, 1996: 18-22.
- 4 Jacquin A E. Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1992, **1**(1): 18-30.
- 5 Øien G E, Lepsø y S. Fractal based image coding with fast decoder convergence [J]. Signal Processing, 1994, **40**(1): 105-117.
- 6 Øien G E, Lepsø y S. A class of fractal image coders with fast decoder convergence [A]. Fractal Image Compression: Theory and Application [C], London, UK: Springer-Verlag Press, 1995: 153-175.
- 7 Pi Ming-hong, BA su Anup, Mandal Mrinal, A new decoding algorithm based on rang block mean and contrast scaling [A]. In: Proceedings of ICIP 2003 [C], Barcelona, Spain, 2003, **2**: 271-274.
- 8 Pi Ming-hong, BA su Anup, Mandal Mrinal, et al. A comparison of non-orthogonal and orthogonal fractal decoding [A]. In: Proceedings of the 2004 International Conference on Image Processing [C], Singapore, 2004: 505-508.
- 9 Wu Hsien-Chu, Chang Chin-Chen. Hiding digital watermarks using fractal compression technique [J]. Fundamenta Informaticae 2003, **58**(2): 189-202.
- 10 Zhao Yao, Ma Qiang, Yuan Bao-zong. Digital watermark based on LIFS [A]. In: Proceeding of the 5th International Conference on Signal Processing [C], Beijing, 2000: 1281-1284.