

基于格的灰度级水印技术

李晓强

(上海大学计算机工程与科学学院, 上海 200072)

摘 要: 提出一个新的灰度级水印算法. 首先, 使用量化技术对灰度级水印进行预处理, 实现灰度级水印的数据压缩; 然后, 对原始图像进行小波分解, 在小波域中使用格矢量量化技术构造水印的嵌入和提取算法. 提取水印不需要原图像. 为增强水印的安全性, 使用混沌序列作为密钥对水印序列进行调制. 实验结果表明, 与同类算法相比该算法在获得较好感知质量含水印图像的同时提高了水印的鲁棒性.

关键词: 灰度级水印; 小波; 混沌序列; 格矢量量化; D_4 格

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 12A-2438-05

Lattice Based Gray-Level Digital Watermarking

LI Xiao-qiang

(School of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: A novel gray-level digital watermarking is proposed. It uses grayscale image instead of binary image as the watermark. The watermark image is decomposed using two layer wavelet transformation and a simple quantization technique is used to further decompose the coefficients into bit sequences. After original image is decomposed using three layer wavelet transformation, the lattice vector quantization is used to construct the embedding strategy, in which coarse and detail watermark sequences are embedded into coarse and detail coefficients of original image, and the extracting strategy without need original image. To enhance security of the watermark, chaotic sequence is used to modulate the watermark. Experiment results have demonstrated that the proposed algorithm is more robust against JPEG compression and additive white gaussian noise than other similar watermarking algorithm, while the watermarked images have better quality. The recovered watermark image has good quality even under JPEG compression with a quality factor of 30.

Key words: grayscale watermark; wavelet; chaotic sequence; lattice vector quantization; D_4 lattice

1 引言

作为对多媒体数据提供版权保护的一个重要手段, 数字水印技术成为国内外学术界的研究热点^[1,2]. 数字水印技术在需要保护的数字媒体中嵌入代表版权所有者信息的水印信号, 当发现侵权行为时提取相应的水印信号作为版权所有者的证据, 可有效解决版权纠纷^[3,4].

数字水印的三个基本要素是不可感知性、鲁棒性和数据容量. 这三者之间是相互抑制的关系, 当其中一个固定时, 另外两个成反比关系. 水印信号从最初的一维或二维随机序列发展到具有可视性的水印图像^[5~9]. 从数字水印信息量和识别性能来看, 一维或二维伪随机序列水印由于嵌入的信息量少, 在大量的数字产品发行中受到限制; 而人在视觉上对图像是最敏感的, 水印图像良好的可识别性能促成了其潜在的应用前景^[8]. 但是灰度级水印图像包含的数据量远大于二值水印图像, 数据容量的增加会造成鲁棒性的降低或者图像质量

的下降, 这成为其广泛应用的障碍. 因此, 必须采用有效的手段减少灰度级水印的数据量.

水印算法根据在水印提取过程中是否需要原始图像分为非盲水印算法和盲水印算法. 非盲水印在水印提取过程中可利用原始图像信息, 比较易于获得较强的鲁棒性, 但由于该算法在水印提取中需要原始图像, 导致其在很多应用中受到限制. 而盲水印算法由于在提取水印时不能借助于原始图像, 增加了技术上的难度, 仍是富有挑战性的问题^[9].

本文提出一个新的灰度级盲水印算法. 在第二部分介绍格的量化和编码算法; 第三部分介绍灰度级盲水印算法, 包括灰度级水印的压缩预处理, 水印嵌入和提取算法; 实验结果和分析在第四部分给出; 最后在第五部分总结全文.

2 格的量化和编码

如果 a_1, a_2, \dots, a_n 是 m 维实数欧拉空间 $R^m (m \geq n)$ 上的一组线性无关的矢量, 则称集合 $L(a_1, a_2, \dots, a_n) = \{x =$

$u_i a_i | u \in Z, i=1, 2, \dots, n\}$ 为 R^m 中的一个格, 称 $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 为 的一组基, 其中 u_1, u_2, \dots, u_n 是任意的整数. 格型量化器是一种代数型矢量量化器, 它的特点是在多维信号空间中构造一种有规律的网格, 称为格. 网格中的点称为格点, 并以格点作为量化矢量, 把信号空间划分成胞腔, 胞腔的质心就是格点. 对一个特定的空间, 在每个格点的周围是它的 Voronoi 区域, 这个区域包括离该格点比其它格点距离近的所有点. 如果格被用作量化器, 在格点 x 的所有 Voronoi 区域内的点都会量化为 x . 因为格的良好代数 and 几何特性, 所以基于格的矢量量化 (LVQ: Lattice Vector Quantization) 通常具有很低的复杂度^[10].

基于格矢量量化的水印算法的主要思想为^[11]: 在嵌入过程中, 使用格矢量量化算法将变换域图像映射到高维空间中某个最近格点, 然后将水印信号 $W[k]$ 叠加在格点的坐标 $X[k]$ 上. 在检测水印时, 必须知道该格所对应的基. 理论上讲, 如果嵌入的水印信号 $W[k]$ 与因处理 (非恶意或恶意攻击) 而引起的信号失真 $d[k]$ 的和矢量 $Z[k]$ 的模值小于该格对应的最短格矢量的模值, 则通过量化算法可以无失真地恢复出信号 $X[k]$, 因此不需要原始图像就可以实现水印信号的检测和译码 (如图 1 所示) 下面介绍格的编码算法^[12].

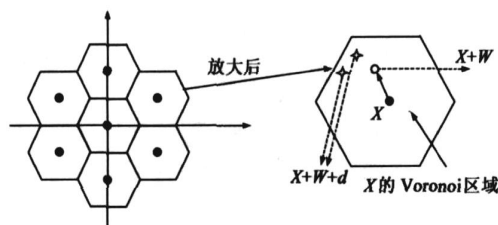


图 1 基于 n 维格量化的水印算法示意图

2.1 n 维整数格 Z^n 的最近格点算法

对任意的点 $x \in R^n$, 在整数格 Z^n 中寻找最近格点的算法是非常简单的, 常用来说明最近格点算法. 对任意一个实数 x , 令 $f(x) = \text{距离 } x \text{ 的最小整数}$. 在带有符号的情况下, 选择绝对值最小的整数. 形式上, 对于 $x \in R$ 定义 $f(x)$ 和按照相反方向取整的函数 $w(x)$ 如下: (公式 (1) 中的 m 是整数.)

$$\begin{aligned} \text{if } x=0 & \quad \text{then } f(x)=0, \quad w(x)=1 \\ \text{if } 0 < m - \frac{1}{2} < x < m + \frac{1}{2} & \quad \text{then } f(x)=m, \quad w(x)=m+1 \\ \text{if } 0 < m + \frac{1}{2} < x < m+1 & \quad \text{then } f(x)=m+1, \quad w(x)=m \quad (1) \\ \text{if } -m - \frac{1}{2} < x < -m & \quad \text{then } f(x)=-m, \quad w(x)=-m-1 \\ \text{if } -m-1 < x < -m - \frac{1}{2} & \quad \text{then } f(x)=-m-1, \quad w(x)=-m \end{aligned}$$

也可以把 x 写作: $x=f(x)+w(x)$, 即 $|w(x)| \leq 1/2$ 是 x 与它的最近格点的距离. 对 $x=(x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$, 令 $f(x)=(f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n))$, $g(x)=(f(x_1), f(x_2), \dots, w(x_k), \dots, f(x_n))$, $g(x)$ 中 k 对应 x 中最坏的分量 x_k (即距离整数最远的分量), 其按照相反的方向取整. 当同时有两个或多个这种分量时, 选择下标最小的分量按照相反的方向取整.

2.2 D_4 格的最近格点算法

D_4 格是一种致密格, 包括具有整数坐标且这些坐标之和

是偶数的格点. 对均匀分布的噪声源, D_4 格为四维格中性能最好的格量化器^[10]. D_4 格中具有某个模值平方的格点包括以下数组的各种位置变换和符号变换:

类型	个数	模值平方
(0,0,0,0)	1	0
($\pm 1, \pm 1, 0, 0$)	24	2
($\pm 2, 0, 0, 0$)	8	4
($\pm 1, \pm 1, \pm 1, \pm 1$)	16	4
($\pm 2, \pm 1, \pm 1, 0$)	96	6
($\pm 2, \pm 2, 0, 0$)	24	8

给定 $x \in R^n$, D_4 中距离 x 最近的格点是 $f(x)$ 和 $g(x)$ 中分量的和为偶数的那个 ($f(x)$ 和 $g(x)$ 的分量和必定一个为偶数, 一个为奇数). 如果 x 同 D_4 中的两个或者多个格点距离相等, 则选择模值最小的格点作为 x 最近的格点. 例如: 寻找 D_4 格中距离 $x=(0.6, -1.1, 1.7, 0.1)$ 的最近格点, 可计算出: $f(x)=(1, -1, 2, 0)$ 和 $g(x)=(0, -1, 2, 0)$. 这是因为 x 中的第一个分量和整数的距离最远. 因为 $f(x)$ 的分量和是偶数, 所以 D_4 格中距离 x 最近的格点是 $f(x)=(1, -1, 2, 0)$.

3 水印算法

为解决灰度级水印数据量较大的问题, 采用量化技术对灰度级水印的小波变换系数进行量化, 在不影响图像感知质量的情况下, 减少灰度级水印的数据容量. 然后, 在原始图像的小波域内使用格矢量量化技术构造水印的嵌入和提取过程.

3.1 灰度级水印压缩和加密

本文采用文献[8]中灰度级水印压缩技术减少水印的数据量, 把水印图像分解为更有利于嵌入的数字形式, 即 0 或 1 组成的二进制水印形式. 在对灰度级水印图像进行 2 层小波分解后, 用 $\{C_i\}$ 表示按逐列排序得到的小波逼近系数, 用 $\{D_i\}$ 表示按逐列排序得到的小波细节系数, 最终利用量化方法将 $\{C_i\}$ 和 $\{D_i\}$ 转换为二进制数: $\{C_i\} \rightarrow \{c_0^i c_1^i \dots c_L^i\}$ 和 $\{D_j\} \rightarrow \{d_0^j d_1^j \dots d_L^j\}$. 本文算法与其不同之处是在对小波系数进行仿射变换的过程中使用四舍五入函数 $\text{Round}(\cdot)$ 代替取整函数 $\text{Int}(\cdot)$, 从而可以减少灰度级水印在数据压缩过程中的质量损失. 这是因为从理论上讲, 对于随机分布的系数, 四舍五入函数的误差要比取整函数的误差小. 实验也证明如此 (见第四部分实验结果).

对灰度级水印图像进行压缩后按照嵌入算法中的方案 (见 3.2 节) 对 $\{c_0^i c_1^i \dots c_L^i\}$ 和 $\{d_0^j d_1^j \dots d_L^j\}$ 进行处理得到逼近系数水印序列 w_C 和细节系数水印序列 w_D , 在水印嵌入算法中将两个序列分别嵌入到原始图像小波分解的逼近系数和细节系数中. 在水印提取算法中, 对水印序列 w_C 和 w_D 进行相应的逆操作, 并乘上相应的量化阶参数后即可恢复出灰度级水印图像.

为增强水印的安全性, 水印算法中使用混沌序列对水印进行调制和解调. 混沌序列主要有以下优点: 通过改变混沌系数参数及初始值可以得到数量巨大的序列, 并且序列长度是任意的; 混沌序列没有周期, 类似于一个随机过程, 因此具有

很好的保密性,混沌序列的产生和复制很方便,只要给出一个混沌迭代公式和一个初值,就能产生一个混沌序列.本文采用 Hybrid 混沌动力系统方程产生混沌序列,因为它具有更好的自相关性和互相关性抑制性,而且序列为零均值.其动力方程如下式:

$$y = \begin{cases} 1 - 2x^2, & -1 < x < -0.5 \\ 1 - \frac{1}{2} \times (-2x)^{1.2}, & -0.5 < x < 0 \\ 1 - 2x, & 0 < x < 0.5 \\ -(2x - 1)^{0.7}, & 0.5 < x < 1 \end{cases} \quad (2)$$

通过对初值的迭代得到混沌轨迹后,再进行阈值化,最后得到由 0 和 1 组成的二值混沌序列 CS(Chaotic Sequence).迭代初值可作为密钥 K 进行保存.

3.2 水印嵌入算法

本文结合格矢量量化技术构造水印的嵌入算法.在水印嵌入算法中为了改善水印的鲁棒性和不可感知性,分别对逼近系数和细节系数按绝对值从大到小排序,原因有两个:

(1) 选择感知重要的水印比特嵌入到感知重要的原始图像系数中.容易看出,图像感知重要的系数是逼近系数,逼近系数振幅较大意味着具有较大的感知容量,使嵌入的水印具有较好的鲁棒性;另一方面,攻击者对逼近系数攻击容易导致图像质量下降从而使图像失去价值.对于灰度级水印图像来说,显然每个系数对应比特串的第一位 c_0 和 d_0 是最重要的比特,在嵌入算法中尽量让感知重要的比特嵌入到载体图像感知重要的系数中.

(2) 对于格矢量量化来说,如果图像的系数是非均匀分布的,在量化过程中就会产生较大的量化误差,从而造成宿主图像质量下降.这里以 D_4 格编码举例说明.对于量化后的小波系数序列 $\{1.1, 2.1, 2.1, 1.8, 1.2, 2.2, 2.1, 1.7\}$,为使用 D_4 格进行编码,将其分为二组四维数据 $(1.1, 2.1, 2.1, 1.8)$, $(1.2, 2.2, 2.1, 1.7)$.根据第二部分 D_4 格最近格点算法进行编码的结果为:

$$\begin{aligned} (1.1, 2.1, 2.1, 1.8) & \quad (1.2, 2.2, 1) \\ (1.2, 2.2, 2.1, 1.7) & \quad (1.2, 2.2, 1) \end{aligned} \quad (3)$$

可以看出,分量 1.8、1.7 在格编码中均变为 1,误差较大,这将导致嵌入水印后宿主图像质量的下降.如果先对小波系数序列进行排序,再进行格编码,则可以尽量除此现象的发生,原因是此时的系数分布近似符合均匀分布.对序列 $\{1.1, 2.1, 2.1, 1.8, 1.2, 2.2, 2.1, 1.7\}$ 进行从小到大排序可得 $\{2.2, 2.1, 2.1, 2.1, 1.8, 1.7, 1.2, 1.1\}$,将其分为两组四维数据 $(2.2, 2.1, 2.1, 2.1)$, $(1.8, 1.7, 1.2, 1.1)$,编码结果为:

$$\begin{aligned} (2.2, 2.1, 2.1, 2.1) & \quad (2.2, 2.2) \\ (1.8, 1.7, 1.2, 1.1) & \quad (2.2, 1.1) \end{aligned} \quad (4)$$

可知,分量 1.8、1.7 在格编码中均变为 2,与排序前编码结果相比误差大大减少,从而减轻量化编码后小波系数误差较大带来的图像质量下降.

基于以上分析,水印嵌入算法的步骤如下:

第一步:对原始图像 I 进行第三层小波分解,其中逼近系数用 $C_I(m, n)$ 表示,所有细节系数均用 $D_I(m, n)$ 表示;

第二步:分别对所有逼近系数 $C_I(m, n)$ 和所有细节系数 $D_I(m, n)$ 按绝对值从大到小排序,得到两个系数序列 $\{\bar{C}_I(i)\}$ 和 $\{\bar{D}_I(i)\}$;

第三步:对灰度级水印逼近系数和细节系数的所有比特按低位到高位顺序进行排序,所有低位的比特都排在前面,高位的比特依次往后排,得到排序后得逼近系数水印序列和细节系数水印序列:

$$W_C = c_0^1 c_0^2 \dots c_1^1 c_1^2 \dots c_{L_C}^1 c_{L_C}^2 \dots; \quad W_D = d_0^1 d_0^2 \dots d_1^1 d_1^2 \dots d_{L_D}^1 d_{L_D}^2 \dots$$

用 3.1 小节中得到的混沌序列 CS 对逼近系数水印序列进行与运算,得到加密后的逼近系数水印序列 W_C ;

第四步:把逼近系数水印序列 W_C 嵌入到 $\{\bar{C}_I(i)\}$,把细节系数 W_D 水印序列嵌入到 $\{\bar{D}_I(i)\}$.水印嵌入过程按照如下方式进行:(1)把原始图像逼近系数(或细节系数)和水印序列分别分为若干个四元组 $\{\text{OrigVec}_i\}$ 、 $\{w_i\}$,使用格矢量量化技术把 $\{\text{OrigVec}_i\}$ 量化为格点 $\{\text{DPoint}_i\}$;(2)根据 $\{w_i\}$ 中的水印比特对格点进行修改实现水印嵌入,如式(5):

$$\begin{aligned} & \text{If } \text{DPoint}_{ij} - \text{OrigVec}_{ij} > 0 \\ & \quad \text{If } w_i = 1 \text{ then } \text{StegVec}_{ij} = \text{DPoint}_{ij} - a; s_{ij} = 0 \\ & \quad \text{If } w_i = 0 \text{ then } \text{StegVec}_{ij} = \text{DPoint}_{ij} - a; s_{ij} = 1 \\ & \text{Else} \\ & \quad \text{If } w_{ij} = 1 \text{ then } \text{StegVec}_{ij} = \text{DPoint}_{ij} + a; s_{ij} = 1 \\ & \quad \text{If } w_{ij} = 0 \text{ then } \text{StegVec}_{ij} = \text{DPoint}_{ij} + a; s_{ij} = 0 \\ & \text{Endif} \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $j = 1, 2, 3, 4$, a 控制水印强度,本文 a 取值为 0.25;(3)对嵌入水印的格点进行逆量化,得到嵌入水印后的原始图像小波系数.

第五步:对嵌入水印后的原始图像小波系数做逆变换,得到含水印图像.

3.3 水印提取算法

水印提取的第一、二步与水印嵌入算法相同,通过对含水印图像进行小波分解和排序得到逼近系数序列 $\{\bar{C}_I(i)\}$ 和细节系数序列 $\{\bar{D}_I(i)\}$;

第三步:使用格矢量量化技术从逼近系数序列 $\{\bar{C}_I(i)\}$ 和细节系数序列 $\{\bar{D}_I(i)\}$ 提取水印,采用如下方式进行:(1)把逼近系数(或细节系数)量化后分为若干个四元组 $\{\text{StegVec}_i\}$;(2)对每个四元组 $\{\text{StegVec}_i\}$ 进行格编码得到其对应的格点 $\{\text{DPoint}_i\}$,通过比较 $\{\text{StegVec}_i\}$ 和 $\{\text{DPoint}_i\}$ 实现水印比特的提取,如式(6)所示:

$$\begin{aligned} & \text{If } \text{DPoint}_{ij} - \text{StegVec}_{ij} > 0 \\ & \quad \text{If } s_{ij} = 1 \text{ then } w_{ij} = 0 \\ & \quad \text{If } s_{ij} = 0 \text{ then } w_{ij} = 1 \\ & \text{Else} \\ & \quad \text{If } s_{ij} = 1 \text{ then } w_{ij} = 1 \\ & \quad \text{If } s_{ij} = 0 \text{ then } w_{ij} = 0 \\ & \text{Endif} \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $j = 1, 2, 3, 4$.

第四步:从逼近系数和细节系数分别抽取出相应的水印序列,然后根据加密时使用密钥 K 产生的混沌序列 CS 和相

应的排序信息恢复出嵌入的比特 $\{c_0^i c_1^i \dots c_{L_c}^i\}$ 和 $\{d_0^i d_1^i \dots d_{L_d}^i\}$, 对这些比特进行灰度级水印压缩的逆过程, 从而恢复出嵌入的灰度级水印.

本文采用归一化相关系数 (NCC: Normalized Correlation Coefficient) 来度量提取水印与原始水印的相似性, 归一化相关系数定义如下:

$$NCC = \frac{W^* \cdot W}{W \cdot W}$$

(7)

其中 W 表示原始嵌入的水印序列, W^* 表示提取出的水印序列.

4 实验结果

本文使用的水印是 64×64 的 8 比特灰度级图像, 对该水印进行数据压缩时使用 $\text{Round}(\cdot)$ 函数代替 $\text{Int}(\cdot)$ 函数. 表 1 和表 2 是分别对 computer 图像 (见图 3 (a)) 和 cameraman 图像进行数据压缩的实验结果. 把灰度级水印用相同比特个数进行分解后, 重构灰度级水印图像的峰值信噪比 (PSNR) 与文献 [8] 相比有较大改善, 从而证实了 3.1 节的讨论. 图 3 (b) 中是水印序列 3 恢复出的灰度级水印, 与原水相比无明显可感知的差别.

表 1 灰度级水印处理结果: computer 图像

压缩后的 灰度级水印	比特位数		重构水印 PSNR (dB)	
	逼近系数	细节系数	$\text{Int}(\cdot)$	$\text{Round}(\cdot)$
水印序列 1	6	5	28.27	33.07
水印序列 2	5	4	22.98	27.41
水印序列 3	4	3	18.05	21.86

表 2 灰度级水印处理结果: cameraman 图像

压缩后的 灰度级水印	比特位数		重构水印 PSNR (dB)	
	逼近系数	细节系数	$\text{Int}(\cdot)$	$\text{Round}(\cdot)$
水印序列 1	6	5	31.02	35.98
水印序列 2	5	4	25.44	30.06
水印序列 3	4	3	20.22	24.13

实验中使用的原始图像是大小为 512×512 的 8 比特灰度图像 Lenna (见图 2). 使用嵌入算法将水印序列 3 嵌入到原始图像中, 得到的含水印图像如图 4 所示, 与原始图像相比无可感知的质量失真, 其 PSNR 分别为 46.7 dB. 而文献 [8] 中含水印图像的 PSNR 为 43.5 dB, 可见本文中的含水印图像质量更好. 在含水印图像未经历失真前水印均能被正确提取, 如图 5 所示.

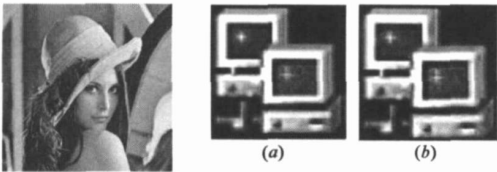


图 2 原始 Lenna 图像 图 3 (a) 灰度级水印 (b) 水印序列 3 恢复的水印

对含水印图像的 JPEG 压缩测试结果在表 3、图 6 中给出. 在 JPEG 质量因子相同的情况下, 本文算法的测试结果在归一化相关系数、误码率和所恢复水印图像的 PSNR (峰值信噪比)

三项指标上整体优于文献 [8] 中的结果. 当 JPEG 压缩因子为 75 时, 仍能正确提取水印, 误码率为零. 当质量因子低达 30 时仍能较好的恢复出水印图像.



图 4 含水印图像 (PSNR=46.7dB) 图 5 从图 4 中提取出的水印

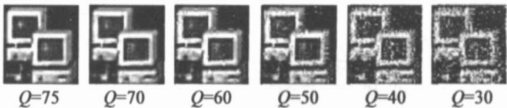


图 6 含水印图像在不同质量因子的 JPEG 压缩后提取出的水印

表 3 JPEG 压缩测试结果

JPEG 压缩 质量因子 QF	文献 [8] 的算法			本文提出的算法		
	NCC	BER %	PSNR (dB)	NCC	BER %	PSNR (dB)
100	1	0	21.86	1	0	21.86
90	0.998	0.92	17.53	1	0	21.86
80	0.990	4.64	11.27	1	0	21.86
75	0.974	8.22	8.28	1	0	21.86
70	0.967	10.75	7.19	0.9993	0.05	21.73
60	0.936	16.77	4.92	0.9960	0.71	18.38
50	0.909	20.07	4.02	0.989	2.20	14.16

表 4 是对含水印图像添加不同高斯白噪声后 (用加噪后图像的 PSNR 表示) 的测试结果. 表 5 是对含水印图像以不同因子缩放 (用双三次插值) 并复原后进行水印提取的测试结果. 可以看出, 与文献 [8] 相比本文算法对于这两种失真测试来说同样具有较好的鲁棒性.

表 4 加性噪声测试结果

加噪后图像 PSNR (dB)	文献 [8] 的算法			本文提出的算法		
	NCC	BER %	PSNR (dB)	NCC	BER %	PSNR (dB)
40	0.9674	10.95	6.9000	1	0	21.86
37	0.9266	17.21	4.8627	0.9971	0.41	19.04
35	0.8914	21.29	3.7690	0.9830	1.86	14.16
33	0.8484	24.91	2.9430	0.9429	5.97	8.95
30	0.7717	30.61	1.6790	0.8167	19.32	4.02

表 5 缩放测试结果

缩放后复原 (缩放因子)	文献 [8] 的算法			本文提出的算法		
	NCC	BER %	PSNR (dB)	NCC	BER %	PSNR (dB)
0.5	0.6520	39.42	0.99	0.6428	37.96	1.246
0.75	0.8120	27.65	2.78	0.8828	16.13	5.37
0.9	0.8647	22.07	3.90	0.9279	9.53	7.85
1.1	0.9200	15.89	5.49	0.9612	3.54	13.02
1.5	0.9396	13.97	5.81	0.9674	1.99	14.94
2	0.9154	16.41	4.81	0.9548	2.80	12.36

5 结论

本文基于格矢量量化技术提出一个新的灰度级水印算

法,对灰度级水印进行量化后将之嵌入到原始图像的小波域,水印提取过程不需要原始图像.使用混沌序列增强水印的安全性.实验表明与类似算法相比,该算法在含水印图像的 PSNR 高达 46.7dB 的情况下,对压缩、加噪等失真测试仍然具有较好的鲁棒性.算法的缺点是无法抵抗几何形变攻击.我们将研究使用格矢量量化和图像归一化^[13~15]技术构造能够抵抗几何形变攻击的灰度级水印算法.

致谢:感谢西安电子科技大学钟桦博士提供文献[8]所用小波分解代码和 Computer 图像;感谢审稿人提出的修改意见.

参考文献:

- [1] Hartung F, Kutter M. Multimedia watermarking techniques[J]. Proceeding of IEEE, 1999, 87(7): 1079 - 1107.
- [2] Cox I J, Kklian J, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(12): 1673 - 1687.
- [3] Cox I J, Miller M L. The first 50 years of electronic watermarking[J]. EURASIP Journal on Applied Signal Processing 2002, 2: 126 - 132.
- [4] Petitcolas F A P, Anderson R J, Kuhn M G. Information hiding - a survey[J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(7): 1062 - 1078.
- [5] 刘瑞桢, 谭铁牛. 基于奇异值分解的数字图像水印方法[J]. 电子学报, 2001, 29(2): 168 - 170.
Liu Rui-zhen, Tan Tie-niu. SVD based digital watermarking method[J]. Acta Electronica Sinica, 2001, 29(2): 168 - 170. (in Chinese)
- [6] Niu X M, Lu Z M, Sun S H. Digital watermarking of still image with gray-scale digital watermarks[J]. IEEE Transaction on Consumer Electronics, 2000, 46(1): 137 - 145.
- [7] Niu X M, Sun S H, Lu Z M. Efficient gray-level digital image watermarking based on vector quantization[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2001, 8(2): 101 - 107.
- [8] 钟桦, 焦李成. 自适应灰度级数字水印技术[J]. 计算机学报, 2002, 25(12): 1364 - 1370.
- [9] 张军, 王能超. 数字图像的自适应公开水印技术[J]. 计算机学报, 2002, 25(12): 1371 - 1377.
- [10] Conway J H, Sloane N J A. Voronoi regions of lattices, second moments of polytopes, and quantization[J]. IEEE Transaction on Information Theory, 1982, 28(2): 211 - 226.
- [11] Li X Q, Xue X Y. A novel blind watermarking based on lattice vector quantization [A]. Proceeding of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering [C]. Niagara Falls, Canada: IEEE, 2004, 3: 1823 - 1826.
- [12] Conway J H, Sloane N J A. Fast quantization and decoding algorithms for lattice quantizers and codes[J]. IEEE Transaction on Information Theory, 1982, 28(2): 227 - 232.
- [13] 杨文学, 赵耀. 抵抗仿射变换攻击的多比特图像水印[J]. 信号处理, 2004, 20(6): 245 - 250.
- [14] 康显桂, 黄继武. 抗仿射变换的扩频图像水印算法[J]. 电子学报, 2004, 32(1): 8 - 12.
Kang Xian-gui, Huang Ji-wu. Spread-spectrum watermarking resists to affine transformation[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(1): 8 - 12. (in Chinese)
- [15] Dong P, et al. Digital watermarking robust to geometric distortions[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2005, 14(12): 2140 - 2150.

作者简介:



李晓强 男, 1973 年 5 月出生于河南省淮阳县. 2004 年 6 月在复旦大学计算机科学与工程系获得理学博士学位. 现为上海大学计算机工程与科学学院副教授, 硕士生导师. 主要研究方向为信息隐藏与数字水印, 图像处理与模式识别. 在国内外发表学术论文近 20 篇.
E-mail: xqli@shu.edu.cn