

文章编号: 1005-0523(2008)05-0054-05

一种基于 Arnold 混沌映射的数字水印技术研究

左黎明

(华东交通大学 基础科学学院 江西 南昌 330013)

摘要: 数字水印技术作为版权保护的重要手段, 已得到广泛地研究和应用. 提出了一种基于 Arnold 混沌映射的数字水印技术和水印信息置乱效果评价方法, 用 Arnold 变换对原始水印信号进行置乱, 再经过 M 序列扩频, 将处理后水印信号嵌入宿主图片小波域的低频系数中. 通过对四组不同条件和嵌入方法的比较, 通过实验证明该算法具有良好的稳健性.

关键词: 数字水印; 混沌映射; M 序列

中图分类号: TP391

文献标识码: A

数字水印技术是一种崭新的信息安全技术, 近年来得到了迅速地发展, 它不仅能为数字作品的版权侵犯、非法复制和篡改及完整性认证等问题提供了一种可行的解决途径, 而且为网站保护、隐蔽通信以及各种电子票据的防伪提供了一种合理机制.

一个数字水印算法可以分为两个部分: 数字水印的嵌入算法(如图1所示)和数字水印信息的检测算法(如图2所示). 在水印信息的嵌入和检测过程之间, 嵌入水印信息后的宿主信息可能会受到过许多无意地或恶意地处理和攻击, 但是, 在宿主信息的使用价值下降不太大的情况下, 水印信息应该能可靠地被检测出来. 不可见性和稳健性是对图像水印的最基本要求, 水印的嵌入算法有很多, 从实现角度看可分为二类: 空域方法和变换域的方法. 这两种方法分别通过改变图像的某些像素的灰度和改变主图像的某些变换系数来嵌入水印.

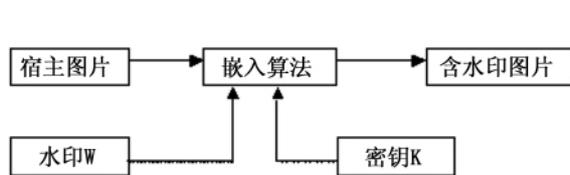


图1 水印的嵌入

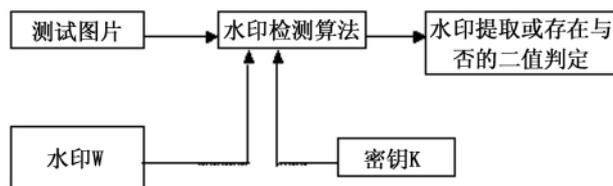


图2 水印的检测

1 基于 Arnold 混沌映射的图像置乱

1.1 置乱效果的判别准则

图像中的任意两个像素的距离可以用公式(1)表示, 式中 (x_i, y_i) 与 (x_j, y_j) 分别表示像素的空间坐标值, 如果将图像以矩阵形式表示, 相当于矩阵元素的行和列的值

收稿日期: 2008-07-08

基金项目: 江西省自然科学基金资助项目(2007GZS1054); 华东交通大学校立科研基金资助项目(07JC03)

作者简介: 左黎明(1981-), 男, 江西鹰潭人, 助教, 软件工程师, 理学硕士, 研究方向为信息安全, 非线性系统分析.

$$d(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

如下面一个 16 个位置的置乱中

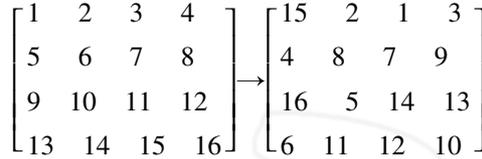


图 3 16 个位置的置乱

矩阵元素和它相邻的元素之间的经过置乱后的距离称为一阶距离,用 $d_1(i, j)$ 表示,将矩阵元素和它只隔一个元素的元素之间经过置乱后的距离称为二阶距离,用 $d_2(i, j)$ 表示,同理可定义 n 阶距离、用 $d_n(i, j)$ 表示,如图 3 所示 16 个位置置乱矩阵,元素 1 和元素 2 5 6 之间的距离为一阶距离,元素 1 和元素 3 7 11, 10 9 之间的距离称为二阶距离。

定义 1 一阶置乱度是图像 I 中所有像素的一阶距离的均值和方差之比的平方,公式如下

$$r_1 = [E(d_1(i, j)) / D(d_1(i, j))]^2 \quad (2)$$

通过公式 2 可以知道,一阶距离的均值比较大表示置乱后以前相邻元素之间的距离变大了,也即相邻元素被分散了,一阶距离的方差比较小表示距离变化程度比较集中,所以二者的比值越大表示置乱度越大,即原来完整的图像的像素被均匀地打散的程度越大。因为一阶置乱度只定义了原来相邻元素对之间的距离变化,还不足以十分精确地描绘置乱程度,因此我们可以对一阶置乱度的公式推广,给出 n 阶置乱度

$$r_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n s_k \left[\frac{E(d_k(i, j))}{D(d_k(i, j))} \right]^2 \quad (3)$$

1.2 Arnold 变换置乱

关于 Arnold 变换的细节参考文献 [1] 在置乱算法中我们选择均值超过某一阈值且置乱度达到最大时的 Arnold 变换次数为最佳变换次数,认为此时图像达到最乱。首先将图像进行阶数 $N = 16$ 的分块,得到多个 16 阶的方阵,对每个方阵计算出经过各次 Arnold 变换后图像的一阶置乱度和均值,根据置乱度和均值得到最佳变换次数。通过实验表明,阶数为 16 的矩阵在经过 6 次 Arnold 变换后达到最乱,对置乱后的水印信息采用 M 序列进行扩频处理。

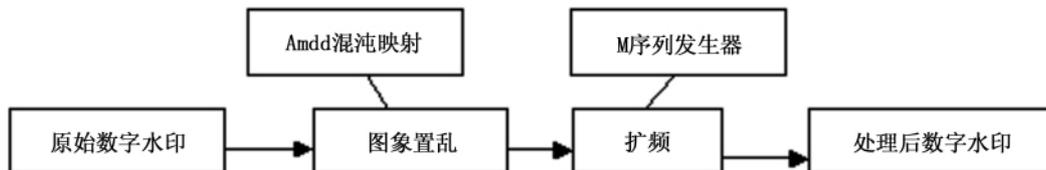


图 4 水印置乱后扩频原理

1.3 M 序列对水印信号进行扩频

M 序列是由线性移位寄存器网络产生,其互相关系数的计算比较复杂,实际中一般都采用性态 Gold 序列。将水印图像二值化后通过映射法则 $0 \rightarrow -1, 1 \rightarrow 1$ 映射到 $\{-1, 1\}$ 上,得到长度为 n 的二进制序列的 $a_i \in \{-1, 1\}, i = 1, 2, \dots, n$ 。采用 15 位 M 序列 $PI = \{1, 1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, -1, -1\}$ 来调制,即当 $a_i = 1$ 时,嵌入的数据为 $\{1, 1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, -1, -1\}$,当 $a_i = -1$ 时,嵌入的数据为 $\{-1, -1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, 1, 1\}$ 。

理论上当 M 序列长度趋于无限长时,叠加在图像上的噪声与伪随机序列 PI 的相关输出应当趋向于零,而实际用的 M 序列不但不长,甚至非常短,在实验中只用到 15 位,图像中的噪声也不完全与通信中遇到的噪声一样,所以有可能造成误判,这就给水印的检测和恢复造成困难,可能降低了水印的抗干扰能力。对二值图像进行二维混沌置乱后再利用 M 序列进行扩频处理,采取基于相关位置不变的扩频方式。具体方法如下:运用 15 位 M 序列进行扩频,在 M 序列的后面加上一位数值 1,构造出 4×4 的矩阵,每一个嵌入的 a_i 都用相

应的数据矩阵代替,这样就保持了原来最佳置乱后的像素分布结果.

2 基于正交小波变换的水印嵌入方案

2.1 小波基的选择和水印嵌入原理

小波的光滑度对于图像压缩是比较重要的,光滑程度高的小波,其滤波器的频率局部特性更好.如果小波的光滑性不够,压缩时产生的误差容易看出.光滑度和紧支撑是互为矛盾的,紧支撑越高的小波的光滑度越差,所以这两者需要折衷考虑.如果小波是对称的,其对应的滤波器具有线性相位特性,进而可以消除相位失真.紧支撑的小波是不对称的.相位失真一般可以通过全通均衡得到降低.一般图像可以使用 Mallat 算法塔式分解三层,图5为经过三层小波分解后的频率分布图.

LL_3 是低频带,它是人类视觉最敏感的部分, HH_j 是原图像对角方向高频信息的体现, LH_j 是原图像水平方向的高频成分, HL_j 是原图像垂直方向的高频成分.对一幅图片而言,高频信息主要集中在边缘轮廓和某些纹理的法线方向上,代表着图像的细节变化.因此,水印嵌入时嵌入系数应该有所区别.图6是基于小波变换的水印嵌入原理.

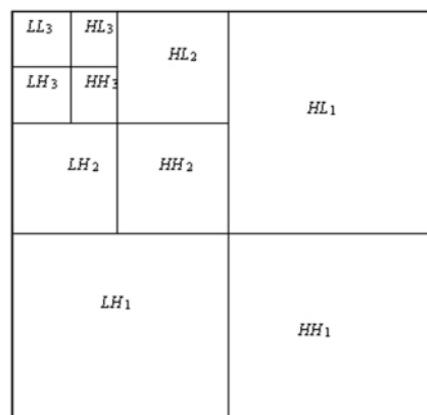


图5 三层小波分解后的频率分布

2.2 水印信息的嵌入

记 $f(x, y, i, j)$ 为宿主图像第 i 层 j 向坐标为 (x, y) 处的小波系数, $g(x, y, i, j)$ 为水印图像第 i 层 j 向坐标为 (x, y) 处的小波系数, 嵌入强度为 $k(i, j)$, 嵌入后的小波系数为 $f^*(x, y, i, j)$, 其中 $i \in \{1, 2, 3\}$, $j \in \{0, 1, 2, 3\}$. 嵌入与检测的原理如下:

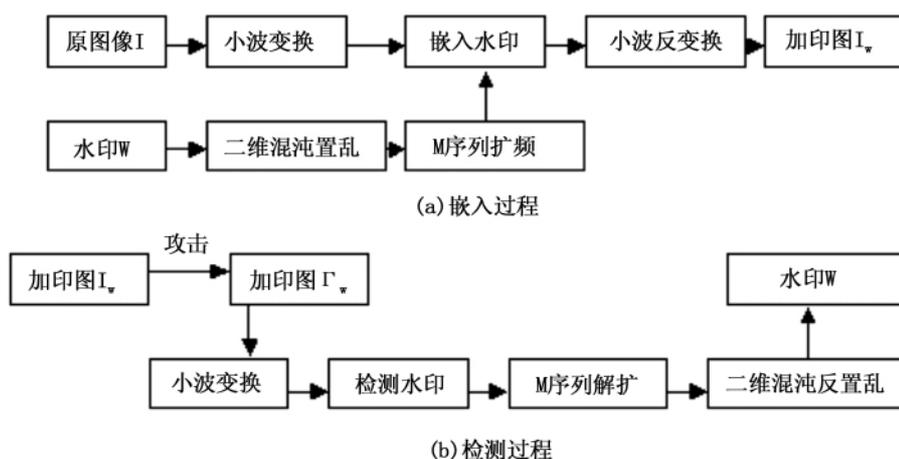


图6 基于二维混沌映射置乱的水印原理

$$f^*(x, y, i, j) = f(x, y, i, j) + k(i, j) * g(x, y, i, j) \quad \text{其中 } i=1, 2, 3 \quad j=0, 1, 2, 3 \quad (4)$$

2.3 水印信息的检测

水印算法中采用相似度(sim) 指标定量评价提取出的水印信号与原始水印信号的相似程度,采用峰值信噪比(PSNR) 指标定量分析加水印图像与原始图像的视觉差异. 公式如下

$$\text{PSNR} = 10 \lg \left[\frac{M \times N \times 255^2}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (M(i, j) - M'(i, j))^2} \right]$$

$$\text{sim}(W, W^*) = \frac{W^* \cdot W}{\sqrt{W^* \cdot W}}$$

其中 W 为原始的水印信息, W^* 为检测到的水印信息.

2.4 实验与仿真

实验中我们采用原始图像为 $256 \times 256 \times 8$ 的 lena 灰度图像,水印信号采用 16×16 的灰度图像三叶草,小波基采用阶为 8 的 Daubechies 小波基,采用软件 Matlab 和 StirMark 进行实验.分别考察以下四种方案:

方案 1: 进行置乱(不扩频),嵌入原始图像小波分解的 LH_2 层,嵌入的水印强度为 4.9;

方案 2: 进行置乱(不扩频),嵌入原始图像小波分解的 LH_2 层,嵌入水印强度为 16;

方案 3: 进行置乱(不扩频),嵌入原始图像小波分解的 LH_3 层,水印强度为 4.9;

方案 4: 置乱再经扩频后嵌入到小波分解 LH_2 层.扩频序列为 15 的 M 序列,水印强度为 4.9.



图7 水印嵌入实验结果

表1 抗攻击实验结果

方案	加水印失真 PSNR(dB)	JPEG 压缩比极限	JPEG 压缩 PSNR(dB)	抗噪声极限 PSNR(dB)
方案 1	61.120 3	1.48	34.170 8	51.302 9
方案 2	52.148 1	5.39	34.965 1	37.261 3
方案 3	58.251 7	3.72	38.774 6	50.176 4
方案 4	49.224 2	7.98	33.126 5	34.252 1

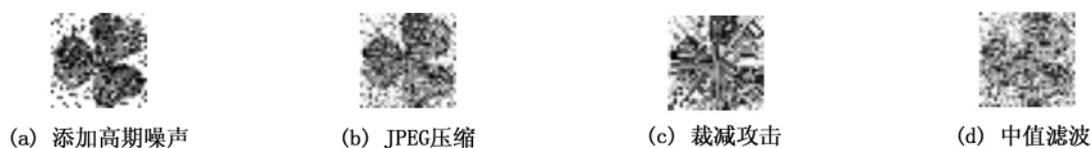


图8 方案 4 在各种攻击后还原出的水印图片

3 结论

水印技术作为版权保护应用时,必须满足难以感知性和对各种攻击的鲁棒性.为了使水印难以感知,应考虑将它嵌入到图像的视觉不重要区域,而为了获得较强的鲁棒性,则希望将水印以较大的强度加到视觉的重要区域或通过扩频等方式增大水印的数据量来实现.因此,有效的水印算法必须在上述两个互相冲突的要

求之间进行折衷. 扩频方法是通过增加水印信号的冗余数据来提高水印的鲁棒性, 同时, 扩频不影响加水印图像的主观质量, 在鲁棒性和难以感知性两方面都做得很好.

参考文献:

- [1] 丁 玮, 闫伟齐 等. 基于 Arnold 变换的数字图像置乱技术[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2001, 13(4): 20-23.
- [2] 王丽娜 等. 信息隐藏实验教程[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.
- [3] 张华熊, 仇佩亮. 置乱技术在数字水印中的应用[J]. 电路与系统学报, 2001, 6(3): 13-15
- [4] (法) Stephane Mallat. 信号处理的小波导引[M]. 杨力华 等译. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [5] 飞思科技产品研发中心. MATLAB 6.5 辅助小波分析与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

A Research of Digital Watermark Technique Based on Arnold Chaotic Mapping

ZUO Li - ming

(School of Basic Science ,East China Jiaotong University ,Nanchang 330013 ,China)

Abstract: As a main method for copyright protection, the technique of watermarking has been widely studied and applied. A digital watermarking based on Arnold chaotic mapping is proposed. The original watermarking is permuted by using Arnold chaotic mapping. M - sequence is used to spread the watermark signal in order to improve its robustness spectrum and then the permuted watermarking signal is embedded into wavelet transform coefficients of host image. The experiment results show this algorithm has very excellent effect.

Key words: digital watermark; chaotic mapping; M - sequence

(责任编辑: 周尚超)

