

# 一种基于混沌映射的抗剪切的数字水印算法<sup>\*</sup>

高婷婷 廖晓峰 桑 军

(重庆大学计算机学院 重庆400044)

**摘要** 本文提出了一种基于混沌映射的空域数字水印算法。利用混沌系统产生的混沌信号在载体图像中随机选取要嵌入水印的点,考虑人类视觉系统(HVS)的特性,并结合这些点的自身特征,在这些点上自适应地嵌入水印。本文的水印是由 Logistic 映射产生的一个随机序列。由于算法是在空域上进行水印嵌入的,因此计算较快,实时性较好。同时又充分利用了 HVS 特性,水印的不可见性得到了很好的保证。实验结果表明该算法对剪切攻击具有较好的鲁棒性。  
**关键词** 数字水印,混沌系统,人类视觉系统

## A Crop-resistant Digital Watermarking Algorithm Based on Chaotic Map

GAO Ting-Ting LIAO Xiao-Feng SANG Jun

(College of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044)

**Abstract** In this paper, a digital watermarking algorithm is presented based on chaotic map on the spatial domain. First, some pixels are sought out from the original image according to a random sequence generated by a chaotic system. The watermark is embedded into these pixels according to the characteristic of themselves and the human visual system (HVS). The watermark used in this paper is a chaotic sequence generated by Logistic map. The efficiency of the algorithm is very well because the embedding of the watermarking is done on the spatial domain. In the meantime, the watermark is sightless owing to adequately use of the characteristic of the HVS. The simulation results have also demonstrated that the proposed algorithm is robust to the crop attack.

**Keywords** Digital watermark, Chaotic systems, Random sequences, HVS

## 1 引言

随着互联网和多媒体技术的普及,几乎所有的图像、视频、音频等都以电子版的形式在网上传播,因此这些数字产品的版权保护问题成了当前研究的一个热点。传统的密码学只是在源端对数字产品进行加密,保护它们在传输过程中不受攻击,但当它们到达目的端并被解密后,攻击依然存在。为了弥补传统密码学的这一缺陷,近年来国际上提出了各种数字水印技术<sup>[1~4]</sup>。数字水印是携带数字产品所有者版权信息的一组辨别数据<sup>[5]</sup>,它可以是一幅有意义的数字图像,也可以是一串伪随机序列。数字水印被嵌入到多媒体数据中,作为版权争端的法律凭证。当然数字水印还有其它的一些用途:真伪鉴别、盗版追踪、隐蔽通信等等。

一般地,数字水印必须满足两个要求:不可见性和鲁棒性。嵌入的水印在视觉上必须是不可察觉的,而且必须难以被清除,即使在受到攻击时仍然要能够检测到原始水印的存在。

根据数字水印的加载方法的不同,水印可以分为两大类:空域数字水印和变换域数字水印<sup>[1]</sup>。空域数字水印是将水印直接嵌入到原始数据上。空域数字水印的算法一般比较简单,运算效率较高,但鲁棒性较变换域数字水印略差。变换域数字水印是将空域进行变化,利用变换空间的良好特性来进行水印的嵌入,这种算法的鲁棒性较好,而一般的算法较复杂,实时性略差。

另外根据数字水印的检测方式可以分为:公开数字水印和秘密数字水印。公开的数字水印在检测时不需要用到原始载体图像,这种检测方法称为盲检测。秘密数字水印在检测时需要参照原始载体图像,这种检测方法称为源检测。

本文为了有效地克服上述数字水印算法的缺陷,将混沌系统的拟随机性及良好的相关特性等优点与人类视觉系统的特性有机结合起来,从而提出了基于混沌映射的抗剪切的数字水印算法,我们提出的算法属于空域数字水印算法的范畴,实验结果也验证了该算法的优越性能。

## 2 混沌映射

所谓混沌,就是指在确定性系统中出现的一种貌似无规则的、类似随机的现象<sup>[5]</sup>。

对于一维离散动力系统  $x_{n+1}=f(x_n)$  ( $n=0,1,2,\dots$ )

**定义** 设  $V$  是一个度量空间,映射  $f:V \rightarrow V$ ,称  $f$  在  $V$  上是混沌的,如果满足以下三个条件:① 对初值的敏感依赖性;② 拓扑传递性:任意一点的邻域在  $f$  的作用下将“遍历”整个度量空间  $V$ ;③  $f$  的周期点集在  $V$  中稠密。

由于混沌系统的这些特性,因此要想对系统进行长期的预测是不可能的,将这个性质应用到数字水印的算法中,可以提高水印的随机性,增加攻击的难度。

本文采用一种常见的混沌映射—Logistic 映射,其定义为:

$$x_{n+1}=rx_n(1-x_n), x_n \in [0,1], r \in (0,4) \quad (1)$$

当  $r$  从 0 逐步变大时,式(1)所示动力系统从一个不动点(周期1)到两个不动点(周期2)……直至周期 $2^n$ 。随着  $r$  值的增大,大量的倍周期分支出现在越来越窄的  $r$  的间隔中,这种周期倍化的过程是有限制的,但相应的  $r$  有一个极限值  $r_\infty=3.569945672\dots$ 。当  $r \rightarrow r_\infty$  时,周期无限长,即可视为非周期,此时整个系统处于混沌状态。当  $r > 4$  时,系统是不稳定的,因此  $r_\infty \leq r \leq 4$  为系统的混沌区(如图1所示)。

<sup>\*</sup> 基金项目:国家自然科学基金(60271019)、教育部博士点基金(20020611007)和重庆市科委应用基础研究项目(7370)资助项目,高婷婷 硕士生,主要研究方向:数字水印。

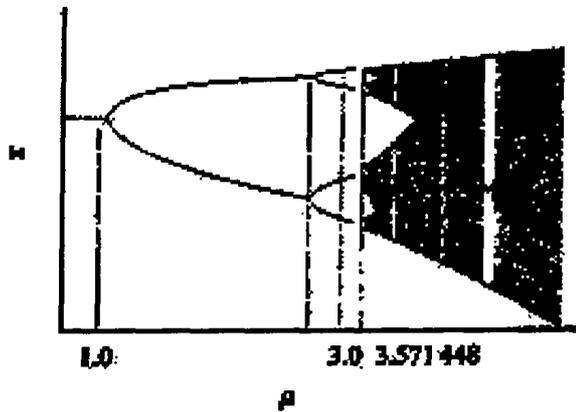


图1

由 Logistic 映射产生的混沌序列具有以下优点:①混沌序列的产生极为方便,只需给出一个参数  $r$  和初值  $x_0$ ,便可产生数量众多的混沌序列,可用于需要大量水印信号的情况;②混沌序列是一个类似随机的过程,而且从混沌序列的值很难推出原始的参数和初值,因此具有很好的保密性;③混沌序列具有良好相关特性。只有使用相同参数和初值产生的序列相关性较好,而采用不同参数或初值产生的序列相关性近似于零,这有利于水印信号的检测。

因为上述的特性,用混沌序列作为水印具有比其它方法更高的安全性。

### 3 水印算法

整个算法的思想为:在载体图像中随机地选取一些点,在这些点上进行水印的嵌入。通过计算这些点周围空心邻域的方差,来区分纹理区和平滑区。利用人眼视觉系统(HVS),在纹理复杂的点处嵌入较多位的水印,而在纹理较平滑的点处嵌入少量的水印,这样纹理区的修改量较大,而平滑区的修改量较小,可以充分地保证水印的不可见性。由于随机的选择要嵌入水印的点,这样增强了水印的鲁棒性。同时水印由 Logistic 映射来产生,这可以保证水印的安全性,下面详细介绍水印的算法。

#### 3.1 选取要嵌入的点

设载体图像为  $F$ ,大小为  $M \times N$ ,利用一个  $M \times N$  长的混沌序列在  $F$  中选取要嵌入水印的点。选定参数  $r_1$  和初值  $x_{10}$  (注意参数的选取要满足  $r_\infty \leq r_1 \leq 4$ ,保证使系统处于混沌状态),由 Logistic 映射产生一个混沌序列  $\{a_i | 0 \leq a_i \leq 1, i=1, 2, \dots, M \times N\}$ 。对序列  $a_i$  进行二值化,记  $\{a_i\}$  中元素的均值为  $\mu$ ,按式(2)得到二值化后的 0,1 序列  $A$

$$A = \begin{cases} 1 & \text{如果 } a_i \geq \mu \\ 0 & \text{如果 } a_i < \mu \end{cases} \quad (2)$$

在二值化的过程中,累计  $A$  中值为 1 的元素个数,记为  $n$ ,然后将序列  $A$  按行展开成二维矩阵  $A^*$ 。若  $A^*(i, j) = 1$ ,则在  $F$  中对应的点  $(i, j)$  的位置上将嵌入一位水印。由于混沌序列的随机性和非统计特性,水印将会随机地遍历在整个载体图像中,这样增加了攻击的难度。

#### 3.2 水印的产生

利用 Logistic 映射,选定参数  $r_2$  ( $r_\infty \leq r_2 \leq 4$ ) 和初值  $x_{20}$ ,产生一个混沌序列  $x_i$ ,序列的长度等于  $n$ 。由于混沌映射对初值条件的敏感依赖性,因此即使初值有微小的差异,也会产生完全不同的混沌序列。用上述同样的方法对序列  $x_i$  进行二值化,得到一个 0,1 序列  $W = \{w_i | 1 \leq i \leq n\}$ ,即为要嵌入的水印。由于  $W$  依赖于初始密钥  $r_2$  和  $x_{20}$ ,因此水印的安全性较好。

#### 3.3 水印的嵌入

载体图像  $F$  中要嵌入水印的点可以组成一个点的集合

$\{f_i | 1 \leq i \leq n\}$ ,记以点  $f_i$  为中心的且不包含该点的空心邻域为  $U_i$ ,这里取该点周围相邻的 8 个点为  $U_i$ ,计算  $U_i$  中像素值的标准方差  $\mu_i$  和  $\{\mu_i | 1 \leq i \leq n\}$  的平均值  $\gamma$ 。若  $\mu_i \geq \gamma$ ,则将其对应的点标记为纹理区;若  $\mu_i < \gamma$ ,则将其对应的点标记为平滑区。将各个要嵌入水印的点的灰度值表示成 8 位的二进制数  $b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$ ,按式(3)将水印嵌入各点:

$$\begin{cases} b_1 b_0 = b_7 b_6 \oplus 11, & \text{如果点 } f_i \text{ 的标记为纹理区,} \\ & \text{且其对应的水印 } w_i = 1 \\ b_1 b_0 = b_7 b_6 \oplus 00, & \text{如果点 } f_i \text{ 的标记为纹理区,} \\ & \text{且其对应的水印 } w_i = 0 \\ b_0 = b_7 \oplus 1, & \text{如果点 } f_i \text{ 的标记为平滑区,} \\ & \text{且其对应的水印 } w_i = 1 \\ b_0 = b_7 \oplus 0, & \text{如果点 } f_i \text{ 的标记为平滑区,} \\ & \text{且其对应的水印 } w_i = 0 \end{cases} \quad (3)$$

将修后的二进制数  $b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$  重新表示成十进制数,即得到修改后的点的灰度值。这里的纹理区和平滑区不是绝对的,而是在一幅给定的载体图像中,各点相比较而言的,因此这种计算具有自适应性。在纹理区嵌入较多的水印,而在平滑区嵌入相对较少的水印。这样符合了人眼视觉系统(HVS)的纹理掩盖效应。设嵌入水印后的图像为  $F^*$ ,利用峰值信噪比 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)来度量两幅图之间的客观保真度,PSNR 的定义为:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[ \frac{M \times N \times 255^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F^*(i, j) - F(i, j))^2} \right] \quad (4)$$

它的值越大,说明嵌入水印后的图像的保真度越好,两幅图越相像。

#### 3.4 水印的检测

水印的检测算法与嵌入算法是相对称的,按上述的相反顺序进行水印的检测。本文采用了盲检测算法。

$$\begin{cases} w_i^* = ((b_7 \oplus b_1) \wedge (b_6 \oplus b_0)), & \text{如果点 } f_i \text{ 的标记为纹理区} \\ w_i^* = (b_7 \oplus b_0), & \text{如果点 } f_i \text{ 的标记为平滑区} \end{cases} \quad (5)$$

提取的水印  $W^* = \{w_i^* | w_i^* = 0 \text{ 或 } w_i^* = 1, 1 \leq i \leq n\}$

计算原水印  $W$  与提取出的水印  $W^*$  的相关性

$$sim(W^*, W) = \frac{\sum_{i,j} W(i, j) \times W^*(i, j)}{\sum_{i,j} W^*(i, j)^2} \quad (6)$$

根据事先制定的阈值  $T_1$ ,判断提取的水印  $W^*$  是否为源水印。

## 4 实验结果

本文选取  $512 \times 512$  的 Lena 图作为载体图像。图 2 和图 3 显示了原始图像和嵌入水印后的图像。



图2 原始图像



图3 嵌入水印后的图像

(下转第 124 页)

个复杂的问题。本文采用 ECperf 作为性能测试基准,对实体 Bean 的性能优化策略进行了一些探讨。实验表明,在服务器资源充足的情况下,使用更高的提交方式可以使性能得到极大的提高;使用容器来管理实体 Bean 的持久化总会得到性能的优化。本文的优化策略和实验都取自中科院软件所自主研发的 WebFrame 应用服务器和 ECperf 测试。这些优化策略在其它的应用系统也取得了明显的效果。

### 参考文献

1 Sun Microsystems. Enterprise JavaBeans Specification, v2. 0. 2001. <http://java.sun.com/products/ejb/docs.html>

2 <http://ecperf.theserverside.com/ecperf/>  
 3 Sun Microsystems. ECperf specification. 2001. <http://java.sun.com/j2ee/ECperf>  
 4 Berbner P, Ran S. Entity Bean A, B, C's: Enterprise Java Beans Commit Options and Caching. In: proc. of IFIP/ACM Intl. Conf. on Distributed Systems Platforms - Middleware, 2001  
 5 Sucharitakul A. Seven Rules for Optimizing Entity Beans. Java Developer Connection - <http://www.java.com/>, 2001  
 6 Deshpande S, Martin B, Subramanyam S. Eight Reasons ECperf is the Right Way to Evaluate J2EE Performance. The ServerSide.com J2EE Community, 2001. <http://www.theserverside.com>

(上接第117页)

与原始图像相比,嵌入水印后的图像在视觉上几乎没有改变,峰值信噪比 PSNR 的值为 52.2589,可见该算法的透明性较好。当水印没有受到攻击时,提取的水印  $w^*$  与原始水印  $w$  的相似度为 1,说明可以完全地提取原水印。

对嵌入水印后的图像进行剪切攻击。用检测器对 2000 个随机产生的水印进行响应,其中只有一个与原水印相匹配(第 1000 个),在该处检测器的响应最大,而其它地方的响应比较而言小得多,这显示了嵌入的水印都能被正确地检测出来。图 4~图 6 给出了剪切攻击示意图及其对应的水印检测图,可以发现在剪切达到 75% 的时候,仍能够正确地检测出水印的存在,这表明该算法对剪切攻击的鲁棒性非常好。

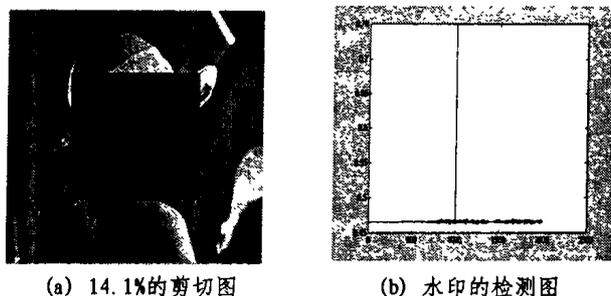


图 4

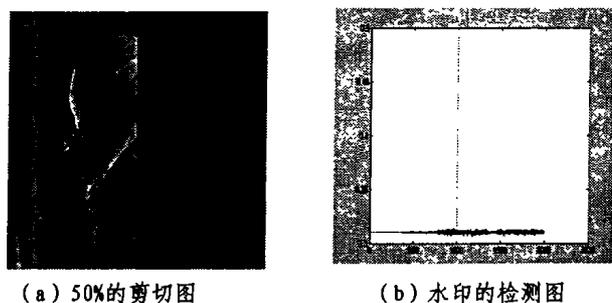


图 5

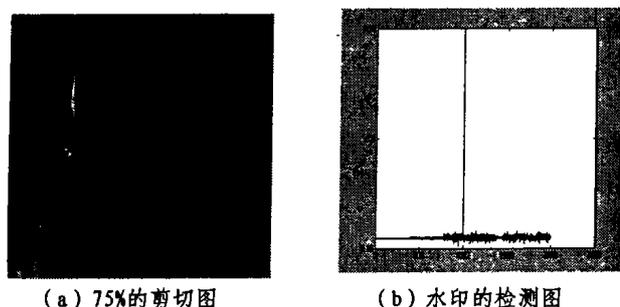


图 6

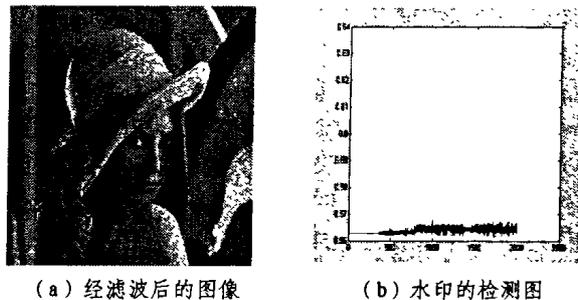


图 7

对嵌入水印后的图像再进行滤波攻击,图 7 给出了经滤波后的图以及对应的水印检测图。

**结束语** 本文提出一种将混沌映射和人类视觉系统相结合的数字水印技术,混沌映射的应用提高了水印算法的安全性,同时结合了人类视觉的特性,保证了水印的不可见性。实验结果表明,本算法的隐蔽性较好,具有很强的抗剪切攻击能力。由于该水印算法是属于空域水印算法,因此算法的效率较好,实时性也较好;而且该算法在检测时采用了盲检测,不需要用到原始图像,因此实用性很强。

### 参考文献

1 Swanson M D, Kobayashi M, Tewfik A H. Multimedia data-embedding and watermarking technologies [J]. Proc. of the IEEE, 1998, 86(6): 1064~1087  
 2 Petitcolas F A P, Anderson R J, Kuhn M G. Information hiding—A survey [J]. Proc. of the IEEE, 1999, 87(7): 1062~1078  
 3 Frank Hartung, Martin Kutter. Multimedia watermarking technologies [J]. Proc. of the IEEE, 1999, 87(7): 1079~1107  
 4 Voyatzis G, Pitas I. The use of watermarks in the protection of digital multimedia products [J]. Proc. of the IEEE, 1999, 87(7): 1197~1207  
 5 杨义先,钮心忻,等. 信息安全新技术. 北京:北京邮电大学出版社, 2002  
 6 陈士华,陆君安. 混沌动力学初步. 武汉:武汉水利电力大学出版社, 1998  
 7 钟桦,刘芳,等. 自嵌入空域易损水印技术. 计算机研究与发展, 2003, 40(6): 825~830  
 8 宿富林,马国强,等. 一种对图像剪切具有鲁棒性的数字水印算法. 电子与信息学报, 2003, 25(3): 295~299  
 9 王相生,甘俊人. 一种基于混沌的序列密码生成方法. 计算机学报, 2002, 25(4): 351~355  
 10 卢宗庆,梅蕊蕊,等. 基于位平面的数字水印算法. 计算机工程与应用, 2003, 39(6): 79~81  
 11 张军,王能超,等. 基于混沌映射和遗传算法的公开数字水印技术. 模式识别与人工智能, 2002, 15(1): 42~47