

一种在图像中嵌入有意义文本信息的 新型鲁棒水印算法

秦娜 张贵仓 魏伟一

(西北师范大学数学与信息科学学院, 兰州 730070)

摘要 提出了一种在图像小波域中嵌入文字的新型鲁棒水印算法, 并对嵌入的文字进行混沌加密和 BCH 纠错编码。实验结果表明, 该算法增大了水印数据的嵌入容量, 提高了抗常见攻击的能力。

关键词 文本水印 混沌序列 提升小波变换 BCH

中图分类号: TP309 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)02-0195-05

A New Robust Watermarking Algorithm Embedding Text Data into Image

QIN Na, ZHANG Gui-cang, WEI Wei-yi

(College of Mathematic and Information Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070)

Abstract This paper brings forward a text embedding digital watermarking method based on image's DWT domain, meanwhile, using the chaotic sequences to encrypt the text data and BCH code to correct them. The experimental results show that the method enlarges watermark capacity and improves the ability to resist the usual attack.

Keywords text watermark, chaotic sequences, LWT, BCH

1 引言

数字水印技术是将具有特定意义的标记隐藏在数字产品中, 以有效解决多媒体版权保护问题, 目前已成为多媒体信息安全研究领域发展最快的热点技术^[1,2]。

目前应用于图像的水印多是有意义的图像(商标、徽章、签章等)或者无意义的伪随机序列。前者表达信息直观, 但本身数据量很大, 导致嵌入容量受限, 而且为了平衡不可见性和鲁棒性的要求, 其嵌入和提取算法往往都非常复杂, 不利于水印系统实时处理的需要^[3]; 而后者数据量小、随机性好, 可以根据相关性准则实现水印的检测, 但是往往只能根据

设定的阈值给出水印是否存在的结果, 不能够直观的表达原始图像或者版权所有者的信息^[4]。

综合考虑以上两种水印数据的特点, 提出一种在图像中嵌入有意义文本信息的新鲁棒水印方法, 水印具有数据量小, 表达意义直观的优点。然而, 由于文本信息本身的特殊性, 即文本信息任何一点的误差, 将导致字符的改变, 少量字符的改变, 就可能使文本的含义改变或含义不清。例如一个汉字在计算机内存储需要两个字节, 即 16 位二进制数编码, 若二进制编码的某一位被由 1 改为 0 或由 0 改为 1, 这个汉字就变成了另外一个字符, 这样的改变在文本语义信息上是不允许的。因此有必要对文本水印数据进行预处理, 以减小字符敏感性对文本语义信息的影响。其方案是: 将要嵌入的

基金项目: 西北师范大学科技创新工程(NWNU-KJXGC-02-03); 甘肃省科技攻关项目(2GS035-A052-011)

收稿日期: 2006-10-13; **改回日期**: 2006-11-01

第一作者简介: 秦娜(1982 ~), 女。西北师范大学数学与信息科学学院计算机应用技术专业在读硕士研究生。主要研究方向为数字水印、图像处理。E-mail: super_qn@126.com

文本信息进行混沌加密和纠错编码,以增加系统的安全性和抗攻击能力,并且冗余嵌入到原始图像的不同频带小波系数中,以提高文本水印的鲁棒性。该算法在提取水印时不需要原始图像和原始水印,属于盲水印算法。实验结果表明,该算法具有较好的鲁棒性。

2 文本水印数据的加密与编码

2.1 混沌序列加密

混沌现象是在非线性动力系统中出现的确定性的、类似随机的过程,这种过程既非随机又非收敛,并且对初始值有极其敏感的依赖性。通过混沌系统对初始值的敏感依赖性,可以提供数量众多、非相关、类随机而又确定可再生的信号^[5]。

定义 $F: U \rightarrow U$, 为一实值序列轨迹。其如果满足以下 3 个条件:①具有对初始条件的敏感依赖性;②是拓扑传递的;③周期点在 U 中稠密,则称对应的动力系统在 U 上是混沌的。其中, Logistic 映射为一种简单并被广泛研究和应用的动力系统,其映射方程定义如下:

$$x_{n+1} = 1 - ux_n^2, x \in (-1, 1), u \in [0, 2] \quad (1)$$

式中, u 为分叉参数。当 $u \in [1.40115, 2]$ 时系统进入混沌状态。即给定 u_0 和 x_0 两个初始参数,根据式(1)就可以得到一个混沌序列,并且不同的 u_0 和 x_0 , 所得到的序列是非周期、不收敛、不相关的。因此在没有初值的情况下几乎没有办法构造出相同的序列。这样就可以设定 u_0 和 x_0 为密钥 K , 对文本水印数据进行加密置乱。

对二进制文本水印数据混沌加密的步骤是:

(1) 给定 u_0 和 x_0 两个初始参数,生成一个与水印长度一致的混沌序列 A_1 ;

(2) 设定一个阈值函数 Γ , 将上述的实数值混沌序列转化为二进制序列 A_2 ;

$$\Gamma(x) = \begin{cases} 0 & -1 \leq x < 0 \\ 1 & 0 \leq x < 1 \end{cases} \quad (2)$$

(3) 将二进制混沌序列 A_2 与二进制水印序列按位异或,得到加密置乱的水印序列。

对二进制文本水印数据解密的步骤是:

(1) 根据密钥生成二进制混沌序列 A'_2 ;

(2) 得到提取的二进制水印序列;

(3) 将二进制混沌序列 A'_2 与提取的水印序列按位异或,得到解密后的水印序列。

例如:文本信息“西北师范大学数学与信息科学学院”加密后的数据为

$$y_wn_ / fng\%_q_ +_q_ =_tk_q_q$$

2.2 差错控制编码

考虑到数字水印系统与通信系统的相似性,将图像的数字水印问题等效为一个数字通信模型,从而应用数字通信中的信号编码理论和方法来改善水印系统的稳健性。水印数据对应要传输的数据,宿主图像对应水印数据的传输信道(水印信道 watermarking channel),水印攻击即通信信道的噪声干扰。水印信道是高误码率信道,而通信理论中的纠错编码能够纠正信道中的误码^[6]。

本文采用的差错控制编码就是在原始序列中加入冗余数据通过纠错以减小信道误码的影响。在嵌入有意义文字水印的过程中,由于文本信息本身的数据量相对于图片非常小,而且文本数据有其敏感性,采用 BCH 编码可以减少图像处理对文本水印的破坏。因此,对每 2 个字符的 16 比特数据经 BCH 编码扩展为 63 位,可以有效纠正 11 位错误。

3 文本水印的嵌入

3.1 图像的 2 维离散小波变换

离散小波变换(DWT)在数字水印中的应用越来越广泛^[7]。DWT 方法不仅可以将图像分解到频域中,同时还保留了图像在空间上的分布(如图 1)。变换后的低频成分是图像的平滑部分,是对原始图像的最佳逼近,图像的大部分能量都集中在此,因此为了提高鲁棒性,常常在此区域嵌入水印。图像的 2 级小波分解如图 2 所示。本文采用的是基于提升格式的整数小波变换^[8],该方法由 Sweldens 首先提出,整数小波提升在继承经典小波变换多分辨率分解特性的基础上,具有更为灵活和优良的性质,其所需的运算仅仅为整数加法和位移,因此运算速度大大提高。



图 1 图像的一级小波分解

Fig. 1 Single-level wavelet decomposition

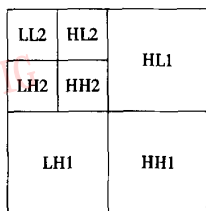


图2 图像2级小波分解结构图

Fig.2 Double-level wavelet decomposition

3.2 文本水印嵌入

(1) 将文本水印数据利用密钥 $Key1$ 进行混沌加密;

(2) 将加密后的水印数据每 16 比特进行 BCH (63,16) 编码;

(3) 对原始载体图像 ($n \times n$) 做二级整数小波变换,得到 7 个子带。由于不同频率子带抗攻击的能力不同,故将预处理后的水印数据重复嵌入不同子带可以分散攻击造成的影响;

(4) 由于文本水印数据的特殊性,为了降低其各个字符间的相关性,将原始图像的低频部分 LL2 和中频部分 LH2、HL2 分别等分成大小为 (8×8) 的数据块,在每一个频带中根据密钥 $Key2$ 生成与字符个数一致的数据块标号;

(5) 在以上选择的数据块中按式(3)嵌入加密和编码后的水印数据。设预处理后的水印数据为 w_i ;

如果 $(d_i/Q) \bmod 2 \neq w_i$, 则

$$d'_i = \begin{cases} \text{当 } d_i - (d_i/Q) \times Q > Q/2 \text{ 时} \\ (d_i/Q) \times Q + \frac{3}{2} \times Q \\ \text{当 } d_i - (d_i/Q) \times Q \leq Q/2 \text{ 时} \\ (d_i/Q) \times Q - \frac{1}{2} \times Q \end{cases} \quad (3)$$

其中, d_i 为要嵌入数据的小波系数, d'_i 为嵌入水印数据以后的小波系数值, Q 为量化步长,为了保证嵌入水印的图像有良好的视觉效果, Q 值的选取根据小波系数的 JND 阈值(可感知噪声阈值矩阵)来自适应的确定。

(6) 对嵌入水印后的图像数据作二级整数小波逆变换,得到合成图像。

4 文本水印的提取

嵌入过程的反过程就可以提取出水印信息,具

体步骤如下:

(1) 对待检测图像 ($n \times n$) 进行二级整数小波变换,得到 7 个子带;

(2) 将低频部分 LL2 和中频部分 LH2、HL2 分别等分成大小为 (8×8) 的数据块,利用密钥 $Key2$ 在每一个频带中选择要提取水印的数据块号;

(3) 利用下式在各子带相应数据块中提取出水印数据 w' :

$$w'_i = \begin{cases} 0 & \text{如果 } (d'_i/Q) \bmod(2) = 0 \\ 1 & \text{如果 } (d'_i/Q) \bmod(2) = 1 \end{cases} \quad (4)$$

(4) 对提取出的数据分别进行 BCH 解码;

(5) 将解码后的数据利用密钥 $Key1$ 解密,并转化为文本信息显示。

5 实验分析

实验采用 256×256 大小的灰度图像 Lena 作为原始图像(图 3(a));采用“西北师范大学数学与信息科学学院”作为文本水印。利用峰值信噪比(PSNR)作为水印图像的客观评价标准。嵌入水印后的图像(图 3(b))与原图之间的峰值信噪比(PSNR)为 31.20dB,基本无视觉差异。在未受到任何攻击下,提取并恢复出的文本水印为“西北师范大学数学与信息科学学院”。实验结果表明,嵌入到低频子带中的水印,对于 JPEG 压缩、高斯噪声、低通滤波等攻击较高频要好,而嵌入到高频子带的水印,对于直方图均衡化、伽码校正、图像增强等攻击比较鲁棒。因此,对于不同的攻击类型,可以从不同的频率子带中提取水印,以得到正确的结果。攻击实验结果如图 4 和表 1 所示。



(a) 原始载体图像

(b) 嵌入文本水印图像

图3 水印算法实验结果

Fig.3 Demonstration of Algorithms

从图 4 可以看出,该算法具有较强的鲁棒性。对于椒盐噪声攻击,在噪声密度不超过 0.015 时,可以完全正确的提取文本信息;对于裁剪攻击,当裁剪

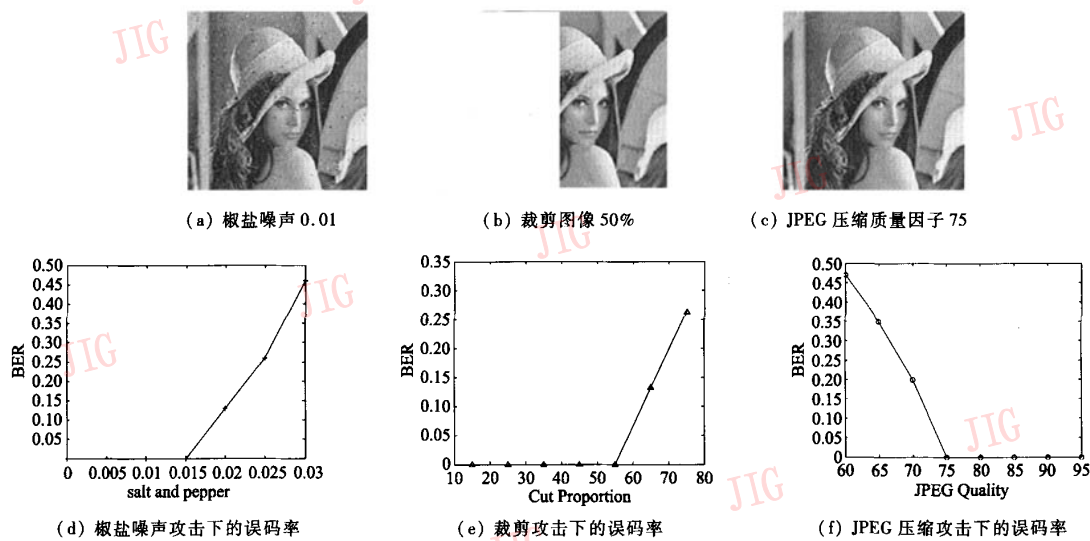


图 4 水印算法攻击实验结果分析

Fig.4 Analyses the experiment of different attacks

表 1 水印图像攻击实验结果

Tab.1 Result of the experiment of different attacks

攻击方式	被攻击的水印图像	各子带提取水印	提取水印	误码率
Wiener 滤波		[LL]西 疆 广 范 学 数 学 九 信 息 科 学 学 院 [LH] 諱 北 师 范 航 数 与 淑 科 学 学 [HL] 西 北 师 范 踏 学 信 硕 学 学	西北师范知学 学与信楼科学学院	0.20
低通滤波		[LL]西北师范大学数学与信息科学学院 [LH]西北师范大学数学与信息科学学院 [HL]西北师范大学数学与信息科学学院	西北师范大学数学与信息科学学院	0
均值滤波		[LL]西北嘈范知 数学书信 科学学院 [LH]西 师 董 学 学与 穗 科 学 蕊 [HL]西 蕊 奔 龄 专 信 息 嫉 陞	西北师范 学数学与信息科学学院	0.06
直方图均衡化		[LL] 帝 梯 阔 乳 校 [LH]西 仔 师 范 学 幼 孤 与 信 学 婧 雏 [HL]西北檐范大学 学帛信灯 学 院	西北师范大学幼学与信 学 鳞 院	0.26

的比例高达 55% 时,仍能完全正确的提取文本信息;对于 JPEG 压缩攻击,当其质量因子小于 75% 时才会出现提取错误。

表 1 给出了其他一些攻击实验的结果。

6 结 论

本文提出了一种新颖的文本水印嵌入算法,以有意义的文本信息作为水印数据,增大了嵌入容量,通过混沌序列对水印数据加密,增强了水印系统的安全性,并结合小波变换与差错控制编码,提高了水印的鲁棒性。在检测水印时,不需要原始图像和原始水印数据。

参考文献 (References)

- 1 Voyatzis G, Ipatas I. The use of watermarks in protection of digital multimedia products[J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(7): 1197 ~ 1207.
- 2 Cox I J, Miller M I. The first 50 years of electronic watermarking [J]. Journal of Applied Signal Processing, 2002, 1(2): 126 ~ 132.
- 3 LUO Yong, CHENG Li-zhi, XU Zhi-hong, et al. A visible digital watermark based on integer wavelet transform with parameters [J]. Journal of Software, 2004, 15(2): 238 ~ 249. [罗永,成礼智,徐志宏等. 基于带参数整数小波变换可见数字水印[J]. 软件学报, 2004, 15(2): 238 ~ 249.]
- 4 YIN Kang-kang, SHI Jiao-ying, PAN Zhi-geng. A robust image watermarking algorithm [J]. Journal of Software, 2001, 12(5): 668 ~ 676. [尹康康,石教英,潘志庚. 一种鲁棒性好的图像水印算法[J]. 软件学报, 2001, 12(5): 668 ~ 676.]
- 5 JI Zhen, LI Hui-hui, XIAO Wei-wei. The research of digital watermark signal based on chaotic sequences [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(7): 1131 ~ 1134. [纪震,李慧慧,肖薇薇. 基于混沌序列的数字水印信号研究[J]. 电子学报, 2004, 32(7): 1131 ~ 1134.]
- 6 GU Li-min, HUANG Ji-wu. Analysis of block coding strategies in watermarking channel [J]. Journal of Software, 2004, 15(9): 1413 ~ 1422. [谷利民,黄继武. 数字水印信道中的分组码编码策略分析[J]. 软件学报, 2004, 15(9): 1413 ~ 1422.]
- 7 Daubechies I, Sweldens W. Factoring wavelet transforms into lifting step [J]. Journal of Fourier Analysis' and Applications, 1998, 4(3): 247 ~ 269.
- 8 ZHOU Wei, MATLAB Advanced Technology of Wavelet analysis [M]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology Press, 2006: 191 ~ 216. [周伟著. MATLAB 小波分析高级技术[M], 西安:西安电子科技大学出版社, 2006: 191 ~ 216.]