

一种基于纠错编码技术的盲数字水印算法

刘宏申, 彭国志, 王朋飞, 刘 凯

(安徽工业大学 计算机学院, 安徽 马鞍山 243002)

摘 要: 目前基于离散余弦变换的图像数字水印技术水印大多都不能盲提取。提出一种基于量化的鲁棒性数字水印技术。首先, 对水印信息进行纠错编码提高水印的鲁棒性, 并通过 Arnold 置乱对水印信息进行加密; 然后将原始载体图像经过 8×8 分块 DCT 变换后, 根据预处理后的水印数据量选定水印嵌入位置; 最后对 DCT 系数进行量化同时完成水印信息的嵌入。本算法实现了水印的盲提取。实验表明, 文中水印方法实现简单, 具有较好的稳健性和不可见性, 能有效抵抗噪声、JPEG 有损压缩、滤波等恶意攻击。

关键词: 数字水印; 纠错编码; 量化; DCT 变换; Arnold 置乱

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)12-0177-04

A Novel Blind Watermarking Algorithm Based on Error Correcting Coding Technique

LIU Hong-shen, PENG Guo-zhi, WANG Peng-fei, LIU Kai

(School of Computer Science & Technology, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

Abstract: Most of existing DCT based image watermark algorithms are non-blind. A robust digital watermarking algorithm based on quantifying and error correcting coding technique is proposed. Firstly, the watermark information was error-correcting encoded to improve its robustness and encrypted by Arnold scrambling; Secondly, the original host image is subdivided into 8×8 DCT blocks, the embedding positions were determined based on the size of preprocessed watermark image; Finally, the coefficients of each blocks were quantified based on watermark embedding algorithm, the watermarked host image is obtained. The watermark can be extracted from the watermarked host image without reference to the original host image. The experimental results show that the scheme is realized easily, and the embedded watermark is imperceptible and robust against various image processing operations such as noising, JPEG lossy compression, filtering and other interferences.

Key words: digital watermarking; error correcting coding; quantization; DCT transform; Arnold scrambling

0 引言

网络化和信息化的快速发展为数字资源共享、多媒体信息的高效传递提供了便利,但是与此同时这些数字资源和作品在信息传递过程中可能在未经授权下被个人或团体恶意攻击或窃取,由此产生了数字产品的版权保护问题。而数字水印的技术,为解决版权保护提供了一种有效的解决方法。

数字水印按照嵌入的方式主要分为两类:基于空间域算法和基于变换域算法。基于空间域水印算法实现简单且不易察觉,但是该方法在压缩过程中容易丢失数据,一旦受到攻击极易被破坏和侦破,所以稳健性

不好;而基于变换域算法的稳健性比较好,因此目前国内外的研究主要是集中在变换域中。文中采用的是 DCT 变换的数字水印算法。先对数字水印进行纠错编码预处理,然后对编码后的水印图像进行置乱变换;对原始图像作分块 DCT 变换,然后将分块信息按照 Zigzag 扫描^[1],选择在载体图像中嵌入水印的位置,最后将其量化后嵌入中、低频系数中。试验结果表明,本算法具有很好的水印不可见性和鲁棒性;对常见的图像处理 and 噪声干扰有较好的稳健性。

1 基本原理

1.1 汉明码

目前在水印信息生成过程中的纠错编码有很多种方法,例如有 BCH 编码、RS 编码、Turbo 编码等,其中较简单且有效的是汉明码^[2]。汉明码是一个在原有数据中插入若干校验码来进行错误检查和纠正的编码技

收稿日期:2010-04-03;修回日期:2010-07-21

基金项目:安徽省优秀青年科研资助项目(2008jq1031)

作者简介:刘宏申(1962-),男,安徽宣城人,教授,研究方向为计算机图像处理、模式识别。

术,它可以对单个比特错误进行修正。用于水印信息的汉明码如下:设 x_1, x_2, x_3, x_4 是原水印信息的所在像素点信息, d_1, d_2, d_3 是校验码,那么它们需要满足如下关系:

$$\begin{cases} d_1 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \\ d_2 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_4 \\ d_3 = x_1 \oplus x_3 \oplus x_4 \end{cases} \quad (1)$$

其中, \oplus 表示异或运算,校验过程如下:

$$\begin{cases} s_1 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus d_1 \\ s_2 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_4 \oplus d_2 \\ s_3 = x_1 \oplus x_3 \oplus x_4 \oplus d_3 \end{cases} \quad (2)$$

根据(7,4)汉明码纠错编码的规则,得出纠错编码的方法。

根据表 1 可以确定七位汉明码中的哪一位出错。纠错编码通过增加数据位提高水印鲁棒性,但是会使水印信息增大,产生了大量的冗余位(原始数据是四位,通过编码后变成了七位)。对二值图像进行海明编码就是先将图像像素点信息由二维数组变换成为一维数组,然后对这一维信息进行海明编码,编码完成后再将一维数组变换回二维数组。一个 48×48 的二值图像按照上述方式进行编码后为 64×63 的二维数组。文中要对编码后的图像进行 Arnold 置乱,而 Arnold 置乱必须是 $N \times N$ 的矩阵,所以将二维数组中增加 64 bits 并将其全部置为 0,使此二维数组满足 Arnold 置乱的要求,在解码时将最后的这 64bits 舍弃。

表 1 汉明码校验位置表

s_1	s_2	s_3	出错位
0	0	1	d_3
0	1	0	d_2
1	0	0	d_1
0	1	1	x_4
1	0	1	x_3
1	1	0	x_2
1	1	1	x_1
0	0	0	无出错位

1.2 Arnold 置乱

置乱变换技术通常作为加密的一种手段应用在水印的预处理阶段,其主要用途^[3]:一幅有意义的水印图像经过置乱变换以后,就变换成一幅毫无意义、杂乱无章的图像,起到了加密作用让水印信息不易被发现;一幅图像经过置乱变换后,就打乱了像素空间位置之间的关联关系,能使其均匀地分布在载体图像的所在空间,起到了抗噪声的作用,提高了算法的鲁棒性。Arnold^[4-6]变换是 Arnold 在遍历理论研究中提出的一种变化,俗称猫脸变换(cat mapping),根据所选择的不同的相位空间可分为二维到 N 维的 Arnold 变换。文中所用的 Arnold 变换是二维变换,对于 $N \times N$ 的二值图

像,基于对像素点坐标的离散化的 Arnold 变换置乱图像定义为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \pmod{N}, x, y \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\} \quad (3)$$

其中 $\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$ 为变换矩阵, $\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ 表示原图像中的任意一点的坐标, $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}$ 表示置乱变换后的像素点的坐标。 N 表示图像的阶数^[6]。根据理论可以得知 Arnold 置乱变换是具有周期性的,当一幅二值图像在经过一定的 Arnold 迭代次数后会还原成原始的二值图像;并且,Arnold 变换周期与二维矩阵阶数的大小有关系,总的趋势是随着图像的阶数的变大而变大,但是也会出现一些局部的震荡^[7]。

1.3 DCT 变换

离散余弦变换(Discrete Cosine Transform)是图像处理技术中最常用的变换之一^[8,9]。Hsu 和 Wu^[10]提出了一种 8×8 DCT 变换的数字水印算法,对图像先进行 8×8 分块 DCT 变换,再将水印嵌入每个分块 DCT 中频系数中。文中所采用的 8×8 分块然后根据文献^[11]的量化方法将水印信息嵌入 DCT 系数的中、低频部分。

2 算法实现

1. 水印的嵌入算法:

1) 将 48×48 bits 的水印信息转换成一维数组,每四 bits 一取然后进行(7,4)汉明码编码,编码后再将增加了冗余位的一维数组,转换成二维数组,这时的水印图像数据量大小为 64×64 bits。

2) 将校验后的水印图像进行 Arnold 置乱变换。根据 Arnold 变换实验的结果可知,图像的置乱效果变换次数为 24,将 24 作为图像恢复时的密钥。把变换后的水印图像再转换为一维数组。

3) 将原始图像划分为不重叠的 32×32 个 8×8 子块进行二维 DCT 变换,然后通过每个子块按照 Zigzag 扫描,将二维数组转换成一维数组,前 15 个系数 DCT 变换的中低频系数,根据嵌入的水印信息的数据量文中的算法是每个子块嵌入四个 bit 位,从第四个系数开始量化。量化公式是: $wm_l(k+3) = \text{round}((wm(k+3)/d))$; 其中, $k=1:4$, round 为四舍五入函数, d 为量化值, $wm_l(k+3)$ 为 DCT 变换后的值。

4) 嵌入的方法:

用量化后的 DCT 的值加上水印值($wm_d(k+i)$)后进行模 2 运算,即:

If $\text{Mod}(\text{wm_l}(k+3) + \text{wm_d}(k+i), 2) = 1$;
 $\text{wm_l}(k+3) = (\text{wm_l}(k+3) - 1/2) * d$;

Else $\text{wm_l}(k+3) = (\text{wm_l}(k+3) + 1/2) * d$;

这样就实现了 1bit 水印信息嵌入到载体图像中。
将四位水印都嵌入载体图像后,一个子块也就处理完成了,然后对子块 IDCT 变换。

5) 所有子块都处理完成,将这些子块进行重组就可以得到含有水印的图像。

2. 水印的提取算法:水印的提取是水印嵌入的逆过程。

1) 将含有水印信息的图像不重叠地划分为 8×8 子块进行 DCT 变换。

2) 根据前面 Zigzag 扫描后的嵌入水印的位置,从第四个系数开始通过公式计算。

3) $\text{Wm_l}(k+3) = \text{floor}(\text{wm}(k+3)/d)$;其中 floor 为向下取整的函数,d 为可调节的量化值,wm_l(k+3)为 DCT 变换后的值;然后对 wm_l(k+3)的值取模 2,根据取模后的值决定水印信息的值:当值为 1 时则水印信息值为 1,当值为 0 时水印信息值为 0,当所有的子块都结束后,水印信息也全部提取出来。

4) 将得到的水印图像进行 Arnold($N - 24$) 置乱变换,其中 N 为 48,然后进行(7,4)汉明码解码,最后得到原水印图像。

3. 实验结果:

根据上述的算法步骤,文中实验采用的是 256×256 大小的 256 级灰度 Lena 图像作为原始图像,嵌入水印信息为 48×48 的二值图像。根据实验选取量化步长 $d=20$ 。用峰值信噪比 PSNR 来表示含水印图像重构后图像质量的评价指标和用 NC 表示嵌入水印后的图像和原图像的相似度,用误码率来表示提取水印与原始水印的相似度。水印的仿真均是在 MATLAB7.0 中进行的。

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

$$\text{NC} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N I'(i,j) \times I(i,j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N I'(i,j)^2} \quad (5)$$

图 1 嵌入水印信息后的图像和提取是水印信息。

为了检验对水印进行纠错编码预处理的实验效果,另外作了一个相同的数字水印系统,只是省去了对水印进行纠错编码的部分,下面是进行各种攻击后的两种算法实验结果及分析。

1) 没有加入纠错编码的攻击实验见表 2。



(a) 嵌入水印的图像



(b) 提取的水印图像

图 1 嵌入水印信息后的图像

表 2 没有加入纠错编码的攻击实验

攻击方式	提取的水印图像	提取水印的 NC	受攻击图像的 PSNR(dB)	误码率
高斯噪声 (0.001)		0.8671	29.5045	0.2009
高斯噪声 (0.002)		0.7343	26.7493	0.3796
椒盐噪声 (0.015)		0.8012	23.0126	0.2930
中值滤波 3x3		0.9167	30.7828	0.1289
剪切 1/4		0.8484	9.4375	0.2249
剪切 1/2		0.6908	5.9742	0.4194
JPEG (品质因子 30)		0.9985	27.7124	0.0034







2) 加入纠错编码的攻击实验见表 3。

3) 实验分析:

由表 2 和表 3 可以看出,没有加入纠错编码的数字水印系统,在加入方差为 0.001 的高斯噪声后,提取的水印图像已经很模糊,而加入纠错编码的水印系统提取的水印图像仍然能够看的很清楚;没有加入纠错编码的水印系统在加入 0.002 的高斯噪声后提取的水印图像已经无法分辨了,而加入纠错编码的水印系统

仍然能够分辨出水印信息,从 NC 和误码率上可以看出加入纠错编码的水印系统分别提升 10%、11% 和 17.3%、18.9%。说明加入纠错编码的水印系统对高斯噪声的鲁棒性有很大的提高。

表 3 加入纠错编码的攻击实验

攻击方式	提取的水印图像	提取水印的 NC	受攻击图像的 PSNR(dB)	误码率
高斯噪声 (0.001)		0.9785	28.9741	0.0278
高斯噪声 (0.002)		0.8485	26.4464	0.1905
椒盐噪声 (0.015)		0.7705	22.8842	0.2795
中值滤波 3x3		0.9495	30.3766	0.0642
剪切 1/4		0.8734	9.8427	0.1536
剪切 1/2		0.7135	6.3052	0.3181
JPEG (品质因子 30)		0.9973	27.3441	0.0035

当加入椒盐噪声为 0.15 时,加入纠错编码和没有加入纠错编码提取的水印图像都是很模糊的,而 NC 和误码率也都是相差不多,说明纠错编码对椒盐噪声的鲁棒性还是有待提高的;当使用 3×3 的中值滤波,加入纠错编码的水印系统提取的图像要更清楚一些,加入纠错编码的误码率提升 6.4%,这说明了纠错编码对中值滤波的鲁棒性还是有了一定的提高的;当对嵌入后的水印图像进行剪切 1/4 和 1/2 攻击时,加入纠错编码的水印系统的误码率分别提升了 7% 和 10%,说明加入纠错编码的水印系统对剪切的鲁棒性有很大的提高;当使用品质因子为 30 的 JPEG 压缩时,加入纠错编码和没有加入纠错编码的水印系统提取的水印图像都是非常清楚的,这是由于分块 DCT 数字水印算法本身就是具有非常好的抗 JPEG 压缩的鲁

棒性。

3 结束语

文中提出了一种对数字水印信息进行纠错编码预处理,然后通过对处理过的水印信息进行 Arnold 置乱变换,实现对水印信息的加密,提高了水印信息的安全性。本算法优点:实现简单,容易实现,且具有较好的水印透明性、鲁棒性和安全性。实验结果表明,本算法对于噪声、中值滤波、裁剪、JPEG 压缩等攻击都具有很好的鲁棒性。

DCT 变换的方法在数字水印技术中广为使用,文中是通过实验的方法确定水印的量化步长,如果能建立数学模型选择相关参数则效果会更好。

参考文献:

- [1] Barni M. A DCT - domain system for robust image watermarking[J]. Signal Processing, 1998, 66: 357 - 372.
- [2] 唐朔飞. 计算机组成原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [3] Niu Xia mu, Lu Zhe ming, Sun Sheng he. Digital Image Watermarking Based on Multiresolution Decomposition[J]. IEEE Electronics Letters, 2000, 36(13): 1108 - 1110.
- [4] 徐红山. 置乱技术在信息隐藏中的应用[J]. 广州大学学报, 2004, 3(2): 134 - 136.
- [5] 张华熊, 仇佩亮. 置乱技术在信息隐藏中的应用[J]. 电路系统学报, 2001, 6(3): 32 - 36.
- [6] 丁 玮, 闫伟齐, 齐东旭. 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学报, 2001, 13(4): 338 - 341.
- [7] 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: 33 - 40.
- [8] 王 颖, 肖 俊, 王蕴红. 数字水印技术原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [9] 邹建成, 铁小匀. 数字图像的 Arnold 变换及其周期性[C]// 中国计算机图形学学术会议 (chmagraph 2000) 文集. 杭州: [出版者不详], 2000.
- [10] Huang J W, Shi Y Q. Embedding Image Watermarks in DC Components[J]. IEEE Transactions in Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(6): 974 - 979.
- [11] 李旭东. 基于分块 DCT 和量化的图像盲水印算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(21): 139 - 144.

中国计算机学会会刊、中国科技核心期刊
《计算机技术与发展》欢迎订阅, 邮发代号: 52-127