

基于面包师变换的抗剪切扩频 水印算法研究*

张鑫, 徐光宪, 付晓

(辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘要: 为提高扩频水印的抗图像剪切能力, 提出一种基于面包师的扩频水印算法。该算法首先利用面包师变换对水印图像进行置乱; 再通过一组伪随机序列对置乱后的图像进行扩频, 可得到具有抗剪切攻击能力的水印序列; 最后将水印序列嵌入到载体图像 DCT 域中低频段部分, 完成水印的嵌入。水印检测时, 对载体图像分别进行不同面积的剪切, 计算出提取的水印图像与原始水印图像的相关值。实验结果证明, 该算法不仅能够抵抗大面积的图像剪切, 同时对其他攻击方法也能够表现出良好的鲁棒性。

关键词: 扩频水印; 面包师变换; 抗剪切; 离散余弦变换

中图分类号: TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2012)06-2246-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.06.065

Research on spread spectrum watermarking algorithm resisting image-cropping based on baker's transformation

ZHANG Xin, XU Guang-xian, FU Xiao

(School of Electrics & Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao Liaoning 125105, China)

Abstract: In order to improve the ability resisting image-cropping of spread spectrum watermarking, this paper proposed a new spread spectrum watermarking algorithm based on baker's transformation. First, it did baker's transform of the watermarking image to scramble it, then spread the image with a PN sequence so that it could get a watermarking sequence with the ability resisting image-cropping. In the end embed the sequence into the low frequency band of the carrier image DCT domain to complete the embedding process. When checking the watermarking, cropped different area of the carrier image and calculated the correlation value between the extracted watermarking image and the original image. The experimental result demonstrates that the algorithm can not only resist large area cropping, but also manifest a good robustness when facing other attacking methods.

Key words: spread spectrum watermarking; baker's transformation; resist cropping; DCT

0 引言

数字水印技术是解决多媒体信息版权保护的有效手段。随着数字水印技术的不断发展, 涌现出了大量的水印算法。1996年, Cox等人^[1]通过类比通信技术, 将图像的频域视为通信信道, 相应地将水印视为信道上传输的信号, 将攻击视为信号传输过程中系统出现的各种噪声, 提出了一项扩频水印理论, 为数字水印领域开辟了一个新的方向。近年来, 扩频水印备受关注, 并广泛应用于数字图像的版权保护中。随着理论的不完善, 扩频水印算法在应对热噪声与图像压缩时表现出了良好的鲁棒性。但令人遗憾的是, 扩频水印算法始终存在一个明显的缺陷——无法抵挡图像的剪切攻击。当载体的某一区域遭到剪切时, 嵌入到该区域的同步水印信息也会完全消失。因此, 在水印的检测过程中, 往往难以检测出正常的水印信息, 从而无法实现对于图像的版权保护。因此, 提高扩频水印的抗剪切能力已成为了数字水印领域中的一大难点。

针对提高数字水印算法的抗剪切能力, 许多专家学者进行了深入的研究。2006年, 王丽等人^[2]提出了一种抗剪切的鲁棒水印算法, 结合了 Patchwork 算法与量化索引调制, 成功地解决了空域水印的抗剪切问题。对于扩频水印而言, 2009年张九华等人^[3]提出了基于扩频编码的图像数字水印算法, 2010年荣星等人^[4]提出了一种基于复合混沌序列的扩频水印算法, 均在不同程度上提高了扩频水印的抗剪切能力。尽管上述算法对扩频水印的缺点有所改善, 但仍存在一定的局限性, 当载体受到剪切的区域较小时, 尚可提取出效果较好的水印图像。然而, 一旦对载体进行大面积剪切, 尤其是当剪切面积超过原始图像的 3/4 时, 无论哪种算法提取出的水印图像均存在着严重的失真, 从而难以满足要求。

基于对以上现状的研究与分析, 本文在扩频水印理论上, 将图像变换理论引入扩频水印领域之中, 针对扩频水印抵抗图像剪切能力较差的缺点, 提出一项基于面包师变换的扩频水印算法, 使载体图像即使受到大面积的剪切攻击时同样能够提取出较为清晰的水印图像。在嵌入到载体之前, 先对水印图

收稿日期: 2011-11-06; 修回日期: 2011-12-09 基金项目: 辽宁省重点实验室资助项目(2009S051)

作者简介: 张鑫(1988-), 男, 辽宁盘锦人, 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理、多媒体信息安全(lntuzx@qq.com); 徐光宪(1977-), 男, 江苏盐城人, 副教授, 博士, 主要研究方向为信息处理与编码理论、信息安全; 付晓(1988-), 女, 河南洛阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为信息论与编码、信息安全。

像进行面包师变换,打乱水印图像原有的空域关系,使水印图像的像素点尽可能均匀分布于每个区域。一旦载体遭到剪切攻击,虽然该区域中的像素点会完全消失,但消失的像素包含了其他区域的像素点,而不仅仅是被剪切掉的部分。在对水印检测时,通过面包师反变换,将水印图像进行恢复,虽然整个水印图像的像素会有所减少,但这种均匀地减少足以保证提取出的水印图像仍具有较为清晰的轮廓,因此,可以有效地实现对载体的版权保护。

1 面包师变换理论

面包师变换^[5]是伯努利^[6]推移的进一步推广。设想面包师在揉一块面团,将一块蓝色的食品着色剂加入面团中,经过面包师反复拉伸和折叠,蓝色便会均匀地混合在面团中。面包师变换正是一种将连续的平面区域反复进行拉伸和折叠的变换技术,它建立了平面正方形 E 到自身的映射,具体形式如下:

$$f(x,y) = \begin{cases} (2x, \lambda y) & 0 \leq x < 1/2 \\ (2x-1, \lambda y + 1/2) & 1/2 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

数字图像是一个离散的数据点阵,而面包师映射的定义域在连续空间中,不能直接用于图像置乱变换。考虑面包师映射独特的拉伸与折叠性和图像的点阵特点,在进行置乱时,首先对图像 $G_{M \times N}$ 的各个像素按混沌序列进行两两配对,依次记为 $a(1), a(2), a(3), \dots, a(M)$,其中 $a(i)$ 与 $a(i+1)$ 配对(i 为奇数), $a(1) = 1$ 且 $a(1) < a(3) < \dots < a(M/2)$;然后,对配对后的两行进行拉伸和折叠操作,对图像矩阵元素 $a(i, j)$ 的离散行拉伸和折叠定义为

$$F(r(i,j)) = \begin{cases} (i+1, 2j-1) & i=2k-1, 1 < j \leq N/2 \\ (i, 2j) & i=2k, 1 \leq j \leq N/2 \\ (i, 2M-2j+2) & i=2k-1, N/2 < j \leq N \\ (i-1, 2M-2j+1) & i=2k, N/2 < j \leq N \end{cases} \quad (2)$$

其中, $k=1, 2, \dots, M/2$ 。面包师变换效果如图 1 所示。

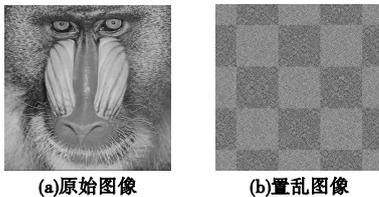


图1 面包师变换效果

与其他图像置乱技术相比,面包师变换的最大优势在于:
a) 面包师变换的置乱周期长,因此图像的保密性更好;
b) 面包师变换只需执行很少的变换次数即可达到良好的置乱效果,相比于其他算法,操作简便。

2 水印的嵌入与提取

2.1 水印的嵌入

水印的嵌入过程步骤如下:

a) 设载体图像为 $G(x, y)$, 首先对图像进行分块。假设经过分块后,可以得到 i 个互不重叠的子块,则记为

$$A_i = \{G_i(p, q), 0 \leq t \leq 7, 0 \leq i \leq I-1\} \quad (3)$$

将每个分块进行 DCT 变换,并计算出经过变换后的 DCT 系数 F_i 。

b) 对水印图像采用面包师变换,打乱水印图像的空域关系,使图像的像素点均匀分布于各个区域,得到图像矩阵 W_n 。

c) 用伪随机序列 C 对置乱水印图像进行扩频,将水印图

像扩展成一组周期为 i 的二值序列码 ω 。由于 $C \in \{1, 0\}$, 因此 $\omega \in \{1, 0\}$ 。

d) 按照 ZigZag 矩阵^[7]的顺序将每个分块的 DCT 系数排列成向量的形式:

$$F_i = \{f_{i,1}, f_{i,2}, \dots, f_{i,64}\} \quad (4)$$

其中, $f_{i,k}$ 为第 i 个分块中第 k 个系数。将每组水印序列分为 ω_zero 和 ω_one 两部分,设

$$\begin{cases} \omega_zero = \{m_1, m_2, \dots, m_N\} \\ \omega_one = \{n_1, n_2, \dots, n_N\} \end{cases} \quad (5)$$

选择 ω_one 序列嵌入到每个分块 DCT 系数的中低频段部分,根据公式

$$f'_{i,j} = f_{i,j} + \alpha n_L \quad L=0, 1, \dots, N \quad (6)$$

e) 将修改的系数按照逆 ZigZag 顺序变为二维矩阵,最后作分块 IDCT 变换,得到嵌入水印后的完整图像 $G'(x, y)$ 。水印的嵌入过程如图 2 所示。

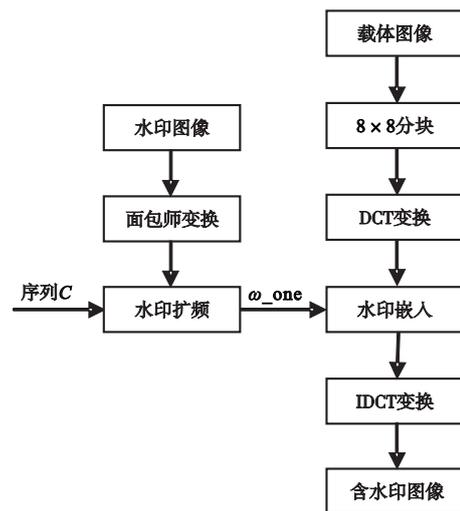


图2 水印的嵌入过程

2.2 水印的提取

水印的提取相当于嵌入的逆过程,具体步骤如下

a) 对含有水印的图像 $G'(x, y)$ 进行 8×8 分块,记为

$$B_i = \{G'_i(p, q), 0 \leq t \leq 7, 1 \leq i \leq I-1\} \quad (7)$$

对 B_i 进行 DCT 变换,设得到的 DCT 系数为 F_i^* 。

b) 将 F_i^* 的 ZigZag 矩阵形式排列成一维向量,得到

$$F_i^* = \{f_{i,1}^*, f_{i,2}^*, \dots, f_{i,64}^*\} \quad (8)$$

将系数向量与伪随机序列作相关运算,判断出原始水印嵌入的位置。

c) 提取出嵌入载体图像的水印序列,并按照矩阵 W_n 的顺序排列,得到经过面包师变换的图像矩阵。

d) 通过面包师变换,提取出原始水印图像。

3 实验仿真

选取大小为 512×512 的 Baboon 图像作为载体图像,如图 3 所示。水印图像为 64×64 的二值图像,如图 4 所示。

按图 2 步骤对水印图像进行面包师变换,结果如图 5 所示。将载体图像进行分块 DCT 变换,分块大小为 8×8 ,从而得到 4 096 个子块。用一组伪随机序列对图 5 进行扩频,得到一组周期为 4 096 的水印序列,找出每个分块图像的 DCT 系数中的中低频部分,按式(3)将序列嵌入其中,根据人眼视觉的亮度屏蔽特性,对水印的嵌入系数进行适当调整,使嵌入效果达

到最佳。通过实验可知,当 α 为 0.055 时,水印的嵌入效果较为理想,此时载体图像的保真度较高,嵌入的效果如图 6 所示。

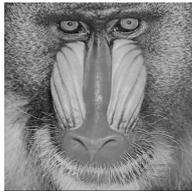


图3 载体图像



图4 水印图像

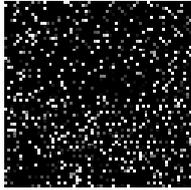


图5 面包师变换图像

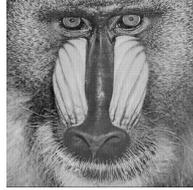


图6 含水印图像

对图 6 分别进行 1/4、1/2、3/4 以及 7/8 面积的剪切,按本文所述的提取方法对水印图像进行提取,结果如图 7~10 所示。

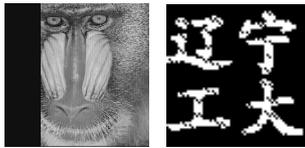


图7 剪切1/4

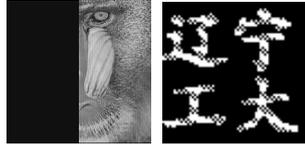


图8 剪切1/2

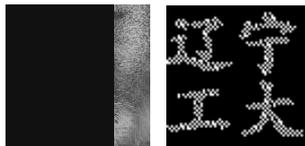


图9 剪切3/4

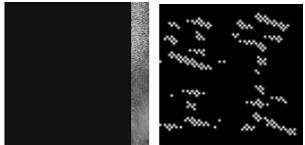


图10 剪切7/8

由图 7~10 可知,无论图像受到何种程度的剪切,即使剪切的面积达到图像面积的 7/8,仍可提取出较为清晰的水印图像。根据公式

$$NC = \frac{\sum_{x,y} F^2(x,y)}{\sum_{x,y} I(x,y)I'(x,y)} \quad (9)$$

计算出原始水印图像与提取的水印图像之间的相关系数^[8],相关系数越接近于 1,表明两幅图像的相似度越好,水印的鲁棒性越强。为证明本文算法的优点,笔者分别采用文献[3,4]算法进行实验,并得出实验数据,如表 1 所示。

表 1 水印图像相关系数(NC)

NC	剪切攻击			
	剪切 1/4	剪切 1/2	剪切 3/4	剪切 7/8
文献[3]	0.966 4	0.908 2	0.826 7	0.702 3
文献[4]	0.961 3	0.917 3	0.835 6	0.724 5
本文算法	0.933 7	0.902 0	0.854 2	0.816 5

由表 1 可知,在剪切面积不超过图像 3/4 的情况下,几种

算法所得到的相关系数相近,且当剪切面积在图像的 1/2 以内时,文献[3,4]中的算法具有更好的鲁棒性。然而,一旦剪切的面积超过 3/4 时(本文以剪切面积等于 7/8 为例),本文算法计算出的水印相关系数明显大于通过文献[3,4]中算法得到的相关系数,因此在受到大面积剪切时,本文算法能够体现出较好的抗攻击能力。

为证明本文算法具备良好的鲁棒性,对图 6 采取其他攻击手段^[9]进行攻击,攻击结果如表 2 所示。

表 2 其他攻击方法实验结果

攻击方法	提取水印图像	相关值(NC)
添加热噪声		0.992 5
噪声椒盐		0.988 3
通过高低通滤波器		0.976 8
JPEG压缩		0.998 1

由表 2 实验结果可知,无论采用何种方法对图像进行攻击,均可提取出相关值极高的水印图像。因此,本文算法不仅对于图像的剪切攻击具有较好的抵抗能力,对其他攻击手段也能够表现出良好的鲁棒性。

4 结束语

本文将面包师变换理论引入到扩频水印领域之中,针对扩频水印的缺点,提出一种新的改进算法,不仅成功地克服了扩频水印抗剪切能力差的缺点,同时对其他攻击也能够表现出良好的鲁棒性。与其他改进算法相比,该算法最大的优势在于,当图像遭到大面积剪切时,仍可提取出较为清晰的水印图像,突破了扩频水印算法的局限,成功地实现了数字图像的版权保护。

参考文献:

- [1] COX I J, KILIAN J, LEIGHTON T, et al. Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video[C]//Proc of IEEE International Conference on Image Processing. [S.l.]:IEEE Press,1996: 243-246.
- [2] 王丽,赵媛媛,赵耀.一种抗剪切的鲁棒数字水印[J].数据采集与处理,2006,21(3):330-333.
- [3] 张九华,李敏,何光普,等.基于扩频编码的图像数字水印算法[J].计算机工程,2009,35(21):167-168.
- [4] 荣星,高承实,戴青,等.一种基于复合混沌序列的扩频水印算法[J].计算机应用研究,2010,27(2):704-707.
- [5] 赵学峰.基于面包师变换的图像置乱[J].西北师范大学学报,2003,39(2):26-29.
- [6] 夏英,鲁宁,风江帆.二元数据子空间聚类算法的初始化研究[J].计算机应用研究,2009,26(1):47-49.
- [7] 周林峰.基于分块 DCT 的自适应扩频水印算法[D].上海:上海交通大学,2007.
- [8] 罗斌,顾伟,吕婉丽,等.基于主分量分析的矢量量化数字水印算法[J].计算机工程,2010,36(2):167-172.
- [9] 胡青.一种基于小波系数边信息的鲁棒水印算法[J].计算机应用研究,2010,27(10):3866-3868.