

一种不可见性和鲁棒性均衡的数字图像水印技术

曹 海

(四川理工学院 计算机学院, 四川 自贡 643000)

摘 要: 为了提高图像的安全性, 保持图像的版权, 提出一种不可见性和鲁棒性均衡的图像水印技术. 首先对水印信息进行置乱操作, 然后采用尺度不变特征变换算子构造载体图像的水印嵌入特征区域, 并选择小波变换的中频子带小波系数作为嵌入位置, 最后采用多幅图像进行水印嵌入测试. 实验结果表明, 此算法可以抵抗噪声、缩放等多种攻击, 而且嵌入的水印具有较好的不可见性, 较好地解决了当前图像水印技术中存在的不足, 具有较高的实际应用价值.

关键词: 数字图像; 小波系数; 水印信息; 原始载体图像; 尺度不变特征变换

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)11-0162-04

A Digital Image Watermarking Technology with Invisible and Robust

CAO Hai

(School of Computer Science, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: In order to improve the security of the printed image, and maintain the copyright of the printed image, this paper proposes a new image watermarking technique which is invisible and robust. First the watermark information of scrambling operation, then the scale invariant feature transform operators are constructed from the carrier image watermark embedding feature region, and select the wavelet transform of intermediate frequency sub band wavelet coefficient as the embedding position, finally the image watermark embedding test. Experimental results show that this algorithm can resist noise, scaling and other kinds of attacks and embedded watermark has good invisibility, a better solution to the existing problems in the current printing image watermarking technology, has a high practical value.

Key words: digital image; wavelet coefficient; watermark information; original image; scale invariant feature transform

1 引言

随着计算机技术和通信技术的飞速发展, 网络中的数字图像越来越多, 图像复制、盗版行为日益猖狂, 因此, 为了确保数字图像安全, 防止图像修改具有重要的意义^[1]. 传统防伪技术存在可以任意修改和复制等缺陷, 很难满足人们对数字图像版权保护要求^[2]. 数字水印技术可以将一些特定信息如公司标志等隐藏于图像中, 具有不易被察觉特征, 外观上几乎完全相同, 不影响图像质量, 并且可以实现版权保护, 因此图像的数字水印技术成为当前研究的

热点^[3].

当前常见的数字水印算法主要有空间域和频域两种技术^[4], 空间域数字水印算法具有水印嵌入、提取速度快等优点, 如最低有效位水印算法 (LSB)、PATCHWORK 水印算法^[5,6], 但是它们的鲁棒性比较差, 嵌入水印的容量有限, 不能经受常规的数字信号处理^[7]. 频域数字水印算法通过一些变换技术, 将水印嵌入到适当的位置, 主要有小波变换、离散余弦波变换等, 可以有效地抵抗几何攻击^[8,9]. 然而实际应用中, 这些水印算法同样存在一些不足, 如对剪切、旋转攻击上不太理想等^[10], 因此图像水印技术

收稿日期: 2015-01-15; 修回日期: 2015-03-07

基金项目: 四川省教育厅科研项目 (10ZC084)

仍然是一项具有挑战性的课题^[11]。

为了更好地保护图像版权,防止伪造和盗版,本文提出一种不可见性和鲁棒性均衡的图像水印技术,实验结果表明,本文算法不仅具有良好的不可感知性,而且可以对其他攻击具有较强的鲁棒性。

2 水印嵌入区域的确定和水印信息置乱

2.1 确定图像水印嵌入区域

在图像水印嵌入过程中,嵌入区域的合理性至关重要,本文选择尺度不变特征变换(scale invariant feature transform, SIFT)选择水印嵌入区域^[12]。SIFT是一种图像局部特征描述算子,其对仿射变换、尺度缩放等操作具有较强的鲁棒性,其工作步骤所示。

(1)采用高斯卷积建立尺度空间,那么原始图像 $I(x, y)$ 和高斯函数 $G(x, y, \sigma)$ 之间的卷积为

$$L(x, y, \sigma) = g(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (1)$$

式中, $*$ 为卷积操作, $g(x, y, \sigma)$ 定义如下

$$g(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (2)$$

高斯差分算子是由两个 $G(x, y, \sigma)$ 差分运算,这样像滤波可以表示为

$$\begin{aligned} D(x, y, \sigma) &= (g(x, y, k\sigma) - g(x, y, \sigma)) * I(x, y) \\ &= L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \end{aligned} \quad (3)$$

高斯差分算子可用热传导方程 $\partial g / \partial \sigma = \sigma \nabla^2 g$ 进行推导,过程为

$$\sigma \nabla^2 g = \frac{\partial g}{\partial \sigma} \approx \frac{g(x, y, k\sigma) - g(x, y, \sigma)}{k\sigma - \sigma} \quad (4)$$

$$g(x, y, k\sigma) - g(x, y, \sigma) \approx (k-1)\sigma^2 \nabla^2 g \quad (5)$$

(2)每个像素点与8个相邻像素点进行比较,从而确定特征点的位置和尺度。

(3)进行方向重排构造图像的 SIFT 特征区域,即得到水印嵌入的区域位置。

2.2 水印信息的置乱

为了提高水印信息的安全性,一般在进行水印嵌入之前,对水印信息进行一些预处理,本文采用 Arnold 对水印信息进行变换操作,打乱水印信息的像素坐标,原始像素点 (x, y) 进行置乱操作,得到 (x', y') ,具体如下:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \bmod n \quad (6)$$

设 n 为迭代次数,那么置乱的迭代公式为

$$\begin{cases} m_{xy}^{n+1} = Am_{xy}^n \pmod{N}, \\ m_{xy}^{n+1} = (x, y)^P \\ n = 1, 2, 3 \dots \end{cases} \quad (7)$$

3 水印的嵌入和检测技术

3.1 水印的嵌入

(1)收集水印信息,并采用 Arnold 对水印信息进行变换操作。

(2)采用 SIFT 算子对图像的特点进行检测操作,以特征点为中心构造圆形的特征区域。

(3)对圆形特征区域四周进行“补0”操作,生成一个正方形特征区域。

(4)采用小波分析对每一个特征区域进行分解,选择 K 个感知重要的中频子系数作为水印嵌入空间,并将水印信息嵌入到相应的幅值中,嵌入水印后的中频子带小波系数 (y) 为

$$y(t) = x(t) \cdot (1 + \alpha \cdot W(t)), t \in 1, 2, \dots, K \quad (8)$$

式中, α 表示水印嵌入强度; x 表示中频子带系数; W 为水印信息。

(5)对 y 与其他没有嵌入水印小波系数进行小波重构变换,可以得到嵌入水印信息后的图像区域。

(6)不断重复步骤(5),得到嵌入水印信息的图像块。

(7)将嵌入水印信息的图像块与没有嵌入水印信息的图像块进行组合,得到得嵌入水印信息后的图像。

综合上述可知,本文的水印嵌入过程如图1所示。

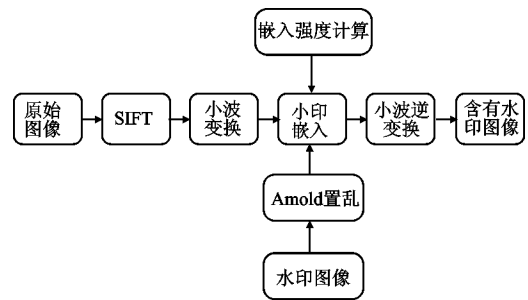


图1 水印信息的嵌入过程

3.2 水印的检测

(1)根据 SIFT 算子对含水印的图像特点进行检测操作,以特征点为中心构造圆形的特征区域。

(2)对圆形特征区域四周进行“补0”操作,生成一个正方形特征区域。

(3)采用小波变换对每一个特征区域块进行小波变换操作,并选择中频子带的小波系数,根据幅度值对小波系数进行排序。

(4)选取 K 个幅度大的小波系数进行水印信息

检测操作.

(5)选择小波系数进行建模得到图像中的水印信息.

综合上述可知,本文的水印检测过程如图 2 所示.

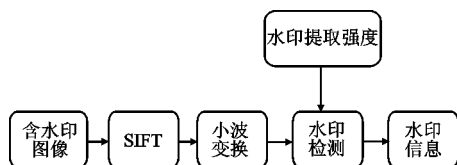


图 2 水印信息的检测过程

4 仿真实验

4.1 数据源

为了测试本文图像数字水印的性能,选择两幅图像作为研究对象,具体情况如图 3(a)和图 3(b)所示,小波分解的层数为 2,特征区域块大小为 32×32 , $\alpha = 0.15$,水印信息图像如图 1(c)所示.



图 3 研究对象

4.2 结果与分析

4.2.1 水印的不可感知性能

采用本文算法将置乱后的水印信息嵌入到原始载体图像中,得到的含水印图像如图 4(a)和图 4(b)所示,原始载体图像和含水印图像的绝对差值图像如图 4(c)和图 4(d)所示,对图 4 进行分析可以知道,肉眼无法看出含水印图像的水印信息,而且原始载体图像和含水印图像没有什么差别,具有较好的不可感知性.

4.2.2 水印的鲁棒性

为了测试本文水印算法的鲁棒性,对原始载体



图 4 水印算法的不可感知性能

图像进行各种攻击,如加噪、缩放和旋转等,经过各种攻击后,得到的图像如图 5 所示.从图 5 可知,本文可以抵抗各种类型的攻击,实验结果表明,本文水印算法具有较好的抗攻击鲁棒性.

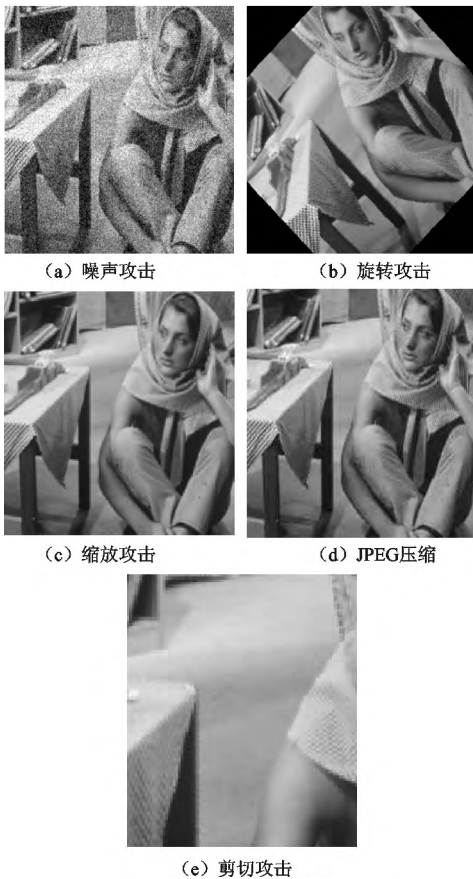


图 5 水印算法的鲁棒性能

4.2.3 与经典算法的性能对比

选择文献[13]和文献[14]中的数字水印算法评价本文算法的优越性,并采用峰值信噪比(PSNR)和归一化互相关系数(NC)^[15]作为评价标准,它们定义如下

$$\text{PSNR} = 10 \lg \frac{N^2 \max I^2(x, y)}{\sum_{x, y} [I(x, y) - I_w(x, y)]^2} \quad (15)$$

$$\text{NC} = \frac{\sum_{x, y} w^2(x, y)}{\sqrt{\sum_{x, y} w(x, y)w(x, y)} \cdot \sqrt{\sum_{x, y} w(x, y)w(x, y)}} \quad (16)$$

处理结果如表1所示.从表1可以看出,本文水印算法的性能要优于传统算法文献[13]和文献[14],这主要是因为:本文算法采用 SFIT 算子构造不变特征区域,可以抵抗缩放、旋转等攻击,同时采用小波变换域嵌入水印信息,提高抵抗各种噪声、JPEG 压缩攻击性能.

表1 本文算法与当前经典水印算法的性能对比

攻击类型	本文算法		文献[14]算法		文献[15]算法	
	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC
高斯噪声	16.085	0.825	15.04	0.702	15.584	0.757
尺度缩放	17.688	0.940	16.53	0.811	15.928	0.833
剪切攻击	18.322	0.853	17.66	0.810	17.325	0.833
旋转 50 度	19.249	0.965	17.26	0.803	16.168	0.801
JPEG 压缩	16.920	0.857	15.00	0.740	16.378	0.838

5 结束语

为了提高图像安全性,更好地保护版权,利用 SFIT 算子和小波变换的优点,提出一种不可见性和鲁棒性均衡的图像水印技术,采用 SFIT 算法构造了水印的嵌入区域,采用小波变换嵌入水印信息,对比实验表明,本文算法可以解决当前水印算法存在的不可见性和鲁棒性之间的矛盾,在图像保护中具有重要应用价值.

参考文献:

- [1] Zheng D, Wang S, Zhao J Y. RST invariant image watermarking algorithm with mathematical modeling and analysis of the watermarking processes[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2009, 18 (5): 1055-1067.

- [2] 赵敏,王慧琴,卢磷. 基于分块 SVD 自适应数字水印算法[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32 (4): 1260-1263
- [3] 徐国荣,王礼平. 基于奇异值与提升小波的彩色图像水印算法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28 (5): 1981-1986.
- [4] 刘如京,王玲. 一种 NMF 和 SVD 相结合的鲁棒水印算法[J]. 计算机科学, 2011, 38(2): 271-273
- [5] Pan-Pan Niu, Xiang-Yang Wang, Hai-Bo Jin, et al. A feature-based robust digital image watermarking scheme using bandelet transform [J]. Optics & Laser Technology, 2011, 43 (3):437-450.
- [6] Lee H Y, Lee C H, Lee H K. Geometrically invariant watermarking: synchronization through circular hough transform [J]. Multimedia Tools and Applications, 2007, 34(3):337-353.
- [7] 王向阳,孟岚,杨红颖. 一种基于多尺度特征的彩色图像数字水印算法[J]. 中国科学:F 辑信息科学, 2009, 39(9):966-976.
- [8] Jinwei Wang, GuangJie Liu, uewei Dai, et al. Locally optimum detection for Barni's multiplicative watermarking in DWT domain [J]. Signal Processing, 2008, 88(1):117-130.
- [9] 马宁. 基于 Arnold 变换和 DCT 变换的图像水印算法[J]. 广西师范大学学报:自然科学版, 2011, 29(3): 163-167.
- [10] 代小红,王光利. 一种用于图像防伪的水印算法设计与实现[J]. 包装工程, 2011, 32(15):118-122.
- [11] 申静. 基于人眼视觉特性的包装图像水印技术研究[J]. 包装工程, 2012, 33(1):113-118.
- [12] 郑永斌,黄新生,丰松江. SIFT 和旋转不变 LBP 相结合的图像匹配算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(2):286-292.
- [13] 刘俊景,蒋华. 一种基于离散余弦变换与奇异值分解的数字图像水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(10):111-114.
- [14] 苏庆堂,牛玉刚,刘贤喜. 空域中实现基于 DCT 系数的图像水印算法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(4): 1441-1444.
- [15] 王向阳,杨艺萍,杨红颖. 基于小波矩的抗几何攻击数字图像水印算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(1): 15-19.

作者简介:

曹海男, (1975—), 硕士, 副教授. 研究方向为图像处理、智能信息处理. E-mail: caohai@suse.edu.cn.