

# 基于归一化图像重要区域的数字水印方法

牛盼盼<sup>1)</sup> 杨红颖<sup>1)</sup> 邬俊<sup>1)</sup> 王向阳<sup>1),2)</sup>

<sup>1)</sup>(辽宁师范大学计算机与信息技术学院, 大连 116029) <sup>2)</sup>(苏州大学江苏省计算机信息处理技术重点实验室, 苏州 215006)

**摘要** 为了使数字水印能更有效鲁棒地抗几何攻击,以图像归一化为基础,提出了一种可有效抵抗几何攻击的数字图像水印方案。该方案首先利用基于矩的图像归一化技术将原始载体映射到几何不变空间内;然后结合不变质心理论提取出归一化图像的重要区域;最后根据人眼视觉特性及小波系数相关性,利用自适应量化调制策略将水印信息嵌入到归一化图像的重要区域内。仿真实验结果表明,该图像水印方案不仅具有良好的透明性,而且具有较强的抵抗常规信号处理及几何攻击的能力。

**关键词** 图像水印 几何失真 图像归一化 重要区域

**中图分类号**: TP309 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)10-1774-04

## Robust Digital Watermarking Based on Significant Region of Normalized Image

NIU Pan-pan<sup>1)</sup>, YANG Hong-ying<sup>1)</sup>, WU Jun<sup>1)</sup>, WANG Xiang-yang<sup>1),2)</sup>

<sup>1)</sup>(School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

<sup>2)</sup>(Jiangsu Province Key Laboratory for Computer Information Processing Technology, Suzhou University, Suzhou 215006)

**Abstract** In this paper, a geometrically robust image watermarking algorithm based on significant region of normalized image is proposed. The geometrically invariant space is firstly constructed by using image normalization method. Then the significant region is obtained from the normalized image by utilizing the invariant centroid theory. The digital watermark is embedded into the significant region by quantizing the magnitudes of the selected wavelet coefficients. Experimental results show that the proposed scheme is not only invisible and robust against common signals processing, but also robust against the geometric distortion.

**Keywords** image watermarking, geometric distortion, image normalization, significant region

## 1 引言

数字水印是一种可以在开放的网络环境下保护版权和认证来源及完整性的新技术。依据应用范围,通常可以把数字水印划分为图像水印、视频水印和音频水印等。近年来,图像水印研究取得了很大进展,并陆续提出了一系列数字图像水印算法<sup>[1]</sup>。但遗憾的是,现有绝大多数图像水印方案仅仅能够对抗常规的信号处理(如有损压缩、低通滤波、噪声干扰等),而无法有效抵抗诸如旋转、缩放、平移、行

列去除、剪切、镜像翻转、随机扭曲等几何攻击。因此,抗几何攻击的高度鲁棒的数字图像水印算法研究仍然是一项富有挑战性的工作<sup>[2-14]</sup>。

本文提出了一种可有效抵抗几何攻击的鲁棒数字图像水印方案,该方案首先利用归一化技术构造出载体图像的几何不变量,然后提取出归一化图像的重要区域,最后结合小波系数相关性,利用自适应量化调制策略将水印信息嵌入到归一化图像的重要区域内。实验结果表明,该图像水印方案不仅具有良好的透明性,而且具有较强的抗几何攻击能力。

**基金项目**:视觉与听觉信息处理国家重点实验室(北京大学)开放基金项目(0503);信息安全国家重点实验室(中国科学院软件研究所)开放基金项目(03-06);江苏省计算机信息处理技术重点实验室(苏州大学)开放课题基金项目(KJS0602)

**收稿日期**:2007-06-01;**改回日期**:2007-07-02

**第一作者简介**:牛盼盼(1983~),女,硕士生。主要研究领域为信息隐藏与数字水印。E-mail: niupanpan3333@163.com

## 2 归一化图像重要区域的确定

由基于矩的图像归一化知<sup>[15]</sup>,由于归一化图像普遍具有冗余特性(即归一化图像的“黑边”部分),因此,若直接将水印信号嵌入到整个归一化图像内,则逆归一化过程势必导致部分水印信息丢失,从而严重影响数字水印的隐藏效果。为此,本文将利用区域不变质心理论,从归一化图像中提取出重要区域,并用于水印嵌入。

设原始载体图像的归一化图像为  $G = \{g(i, j), 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$ ,  $R$  是归一化图像  $G$  内的某个区域,则图像区域  $R$  的不变质心可定义为

$$x_R = \frac{\sum_{x \in R} \sum_{y \in R} g(x, y) \cdot x}{\sum_{x \in R} \sum_{y \in R} g(x, y)}, y_R = \frac{\sum_{x \in R} \sum_{y \in R} g(x, y) \cdot y}{\sum_{x \in R} \sum_{y \in R} g(x, y)}$$

其中,  $(x, y) \in R$ 。

于是,归一化图像重要区域的确定方法的步骤为(1)利用高斯滤波器对归一化图像进行平滑处理,以消除噪声干扰;(2)根据图像区域不变质心定义,计算出整个归一化图像的质心  $C_0 = (x_0, y_0)$ ,并将其作为归一化图像的不变质心初值;(3)根据图像区域不变质心定义,计算出以  $(x_0, y_0)$  为圆心、 $r$  为半径的圆形区域的不变质心  $C_1 = (x_c, y_c)$ ;(4)若  $C_1 = C_0$ ,则转步骤(5),否则,令  $C_0 = C_1$ ,并转步骤(3);(5)  $C_0$  为整个归一化图像的不变质心。

接下来,以整个归一化图像的不变质心为中心点,选取大小为  $S_1 \times S_2$  的矩形区域作为整个归一化图像的重要区域。

## 3 基于重要区域的数字水印算法

### 3.1 数字水印的嵌入

设原始载体为 256 级灰度图像  $I = \{f(i, j), 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$ , 数字水印为二值图像  $W = \{w(i, j), 1 \leq i \leq P, 1 \leq j \leq Q\}$ 。其中,  $f(i, j)$  和  $w(i, j)$  分别代表原始载体图像和二值水印图像的第  $i$  行、第  $j$  列像素灰度值。则数字水印的嵌入过程(关键步骤)如下。

(1) 数字水印的加密处理。将二值水印图像利用行扫描形成 1 维向量,并利用 logistic 映射产生的混沌密钥来对其进行加密处理,以得到安全水印序列  $M_{\text{watermarking}}$ 。

(2) 原始载体图像的归一化处理。利用基于矩

的图像归一化技术,对原始载体图像  $I$  进行归一化处理,以得到相应的归一化图像  $G$ (参见文献[15])。

(3) 归一化图像重要区域的确定。结合区域不变质心理论,从归一化图像  $G$  中提取出重要区域  $O$ 。

(4) 归一化图像重要区域的小波变换。对归一化图像重要区域  $O$  实施  $n$  级小波变换,并选取低频区子带  $O_n^L$  作为数字水印嵌入区。

(5) 数字水印的嵌入。本文将采用量化调制小波系数方法,将数字水印信息(已经过加密处理)嵌入到归一化图像重要区域的小波变换域内,即首先,利用伪随机种子在子带  $O_n^L$  内随机选取不重合的  $P \times Q$  个位置作为水印信号的嵌入位置。这里,伪随机种子被视作密钥  $Key$ ,然后,量化调制所选取的小波系数,以完成水印信息嵌入。本文所采用的量化嵌入规则为  $\hat{O}_n^L(x_k, y_k) = Q_1(O_n^L(x_k, y_k)) + m_{\text{watermarking}}(k) \times \Delta(x_k, y_k)$   $Q_1(O_n^L(x_k, y_k)) = \text{floor}(\text{round}(O_n^L(x_k, y_k)/\Delta(x_k, y_k))/2) \times 2\Delta(x_k, y_k)$

其中,  $O_n^L(x_k, y_k)$  和  $\hat{O}_n^L(x_k, y_k)$  分别为修改前后的小波系数;  $(x_k, y_k)$  为第  $n$  级子带内的带内像素点坐标位置 ( $x_k \in \{1, 2, \dots, S_1/2^2\}, y_k \in \{1, 2, \dots, S_2/2^2\}$ );  $\text{round}(\cdot)$  为舍入取整操作,  $\text{floor}(\cdot)$  为截取取整操作;  $\Delta(x_k, y_k)$  为量化步长,即

$$\Delta(x_k, y_k) = \alpha \times 2^n \times \ln \frac{|O_n^L(x_k, y_k)| + |O_n^H(x_k, y_k)| + |O_n^H(x_k, y_k)|}{2}$$

这里,  $\alpha$  为拉伸因子。

(6) 逆小波变换。用含水印信息的小波系数  $\hat{O}_n^L(x_k, y_k)$  代替  $O_n^L(x_k, y_k)$ ,并结合未修改的小波系数进行  $n$  级逆小波变换,便可得到含水印归一化图像重要区域  $\hat{O}$ 。接下来,用其替换掉原始归一化图像重要区域  $O$ ,即得到含水印归一化图像  $\hat{G}$ 。

(7) 含水印图像的获得。与现有归一化图像水印方案不同,本文将采用预先失真补偿策略获取含水印图像  $\hat{I}$ ,其目的在于降低归一化操作对载体图像造成的失真,即提高数字水印的透明性。具体操作为:

① 计算原始归一化图像  $G$  与含水印归一化图像  $\hat{G}$  间的差值图像  $D = G - \hat{G}$ ;

② 对差值图像  $D$  做逆归一化操作,得到逆差值图像  $\hat{D}$ ;

③ 将逆差值图像  $\hat{D}$  直接叠加于原始载体图像  $I$  上,即可得到含水印图像  $\hat{I}$ 。

### 3.2 数字水印的提取

水印提取是水印嵌入的逆过程。本文讨论的数字水印检测算法属于盲检测算法,即在检测数字水

印时不需要原始载体图像。设待检测图像为  $\tilde{I}$ , 则数字水印检测过程如下:

(1) 利用基于矩的图像归一化技术, 对待检测图像  $\tilde{I}$  进行归一化处理, 以得到相应的归一化图像  $\mathcal{G}$ 。

(2) 结合区域不变质心理论, 从归一化图像  $\mathcal{G}$  中提取出重要区域  $\mathcal{O}$ 。

(3) 对归一化图像重要区域  $\mathcal{O}$  实施  $n$  级小波变换, 并选取低频区子带  $\mathcal{O}_n^{LL}$  用于水印提取。

(4) 利用密钥  $Key$  选取最低频小波系数  $\mathcal{O}_n^{LL}(x_k, y_k)$  ( $1 \leq k \leq P \times Q$ ), 并按照如下规则提取水印信息

$$w(k) = \text{mod}(\text{round}(\mathcal{O}_n^{LL}(x_k, y_k) / \bar{\Delta}(x_k, y_k)), 2)$$

其中,  $\text{mod}(\cdot, 2)$  为模 2 取余操作;  $\bar{w}(k) \in \bar{W}$ 。

(5) 对所提取出的 1 维二进制序列进行解密和升维处理, 便可得到二值水印图像。

### 4 仿真实验结果

为了验证本文数字图像水印算法的有效性, 以下分别给出了透明性测试、抗攻击能力(鲁棒性)的测试实验结果, 并与文献[4]和文献[10]算法进行了对比。实验中, 所选用的原始载体分别为  $512 \times 512 \times 8\text{bits}$  标准灰度 Lena、Mandrill 和 Pepper 图像, 数字水印采用了  $32 \times 32$  的二值图像。归一化图像的重要区域大小设置为  $S_1 = S_2 = 256$ , 半径  $r = 100$ , 量化步长的拉伸因子为  $\beta = 2$ , 小波变换级数为  $n = 3$ , 混沌加密的初值  $X_1 = 0.1$ , 参数  $\mu = 4$ 。表 1 给出了两种水印方案的透明性对比实验结果。

为了检测算法的鲁棒性, 分别用本文算法、文献[10]算法对含水印 Lena 图像经过行列去除、缩放、

表 1 透明性对比实验

Tab. 1 The invisibility testing results

|          | 嵌入水印后图像的 PSNR(dB) |         |
|----------|-------------------|---------|
|          | 本文算法              | 文献[4]算法 |
| Lena     | 43.23             | 35.07   |
| Mandrill | 44.02             | 34.80   |
| Pepper   | 43.17             | 36.66   |

长宽比改变、旋转、剪切、线性仿射变换、镜像翻转、边缘锐化、叠加噪声和 JPEG2000 压缩等一系列攻击后的图像进行了水印检测仿真实验。其中

(1) 行列去除 去除含水印图像的第 1 行与第 1 列;

(2) 缩放 将含水印图像放大 2 倍;

(3) 长宽比改变 将含水印图像沿  $x$  方向放大 1.1 倍,  $y$  方向保持不变;

(4) 旋转 将含水印图像顺时针旋转  $45^\circ$ ;

(5) 剪切 将含水印图像沿  $x$  方向剪掉 1%,  $y$  方向剪掉 1%;

(6) 线性仿射变换 变换公式为  $[0.9 \quad -0.2; 0.2 \quad 1.2]$ ;

(7) 镜像翻转 水平方向的镜像翻转;

(8) 边缘锐化  $3 \times 3$  的边缘锐化, 其模板为

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

(9) 叠加噪声 叠加椒盐噪声 (0.01);

(10) JPEG2000 压缩。品质因子为 70。

表 2 给出了二值水印图像的失真率 (BER) 及其视觉效果的关系。表 3 给出了本文算法、文献[10]算法的抗攻击能力(本文用失真率衡量)对照结果。

表 2 二值水印图像的 BER 及其视觉效果的关系

Tab. 2 The watermarking image and its BER

| 水印图像    |   |   |    |    |    |    |
|---------|---|---|----|----|----|----|
| BER (%) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |

表 3 两种水印嵌入方案的抗攻击能力对照

Tab. 3 The watermark detection results for various attacks

|          | 抗各种攻击的失真率 (%) |      |      |    |      |       |      |    |             |    |
|----------|---------------|------|------|----|------|-------|------|----|-------------|----|
|          | 线性仿射变换        | 行列去除 | 镜像翻转 | 缩放 | 边缘锐化 | 长宽比改变 | 叠加噪声 | 旋转 | JPEG2000 压缩 | 剪切 |
| 文献[10]方法 | 1             | 11   | 85   | 19 | 6    | 0     | 23   | 1  | 4           | 35 |
| 本文方法     | 0             | 1    | 2    | 6  | 2    | 0     | 14   | 0  | 1           | 20 |

## 5 结 论

本文以图像归一化为基础,提出了一种可有效抵抗几何攻击的数字图像水印方案,其主要具有如下特点:

(1) 构造了基于归一化图像重要区域的水印嵌入方法,从而提高了数字水印的隐蔽效果;

(2) 利用图像的局部相关性,实现了水印信息的自适应嵌入及水印嵌入强度的智能调节;

(3) 引入了预失真补偿策略,从而增强了数字水印的透明性。

此外,本文提出的数字图像水印方案还具有计算简单、容易实现、抽取水印时无需原始载体等优点,这就大大增强了其用于数字图像作品版权保护的实用性,因此具有一定的应用价值。

### 参考文献 (References)

- 1 Barni M, Cox I J, Kalker T. Digital watermarking [A]. In: 4th International Workshop on Digital Watermarking 2005 [C], Siena, Italy, 2005.
- 2 Licks V, Jordan R. Geometric attacks on image watermarking system [J]. IEEE Multimedia, 2005, 1(3): 68-78.
- 3 Liu Jiu-fen, Huang Da-ren, Huang Ji-wu. Survey on watermarking against geometric attack [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2004, 26(9): 1495-1503. [刘九芬, 黄达人, 黄继武. 图像水印抗几何攻击研究综述 [J]. 电子与信息学报, 2004, 26(9): 1495-1503.]
- 4 Dong P, Brankov J G, Galatsanos N P, et al. Digital watermarking robust to geometric distortions [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12): 2140-2150.
- 5 Parameswaran L, Anbumani K. A robust image watermarking scheme using image moment normalization [J]. Transactions on Engineering, Computing and Technology, 2006, 23(5): 239-243.
- 6 Simitopoulos D, Koutsonanos D E. Robust image watermarking based on generalized radon transformations [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(8): 732-745.
- 7 Kim H S, Lee H K. Invariant image watermarking using zernike moments [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(8): 766-775.
- 8 Ruanaidh J O', Pun T. Rotation scale and translation invariant digital image watermarking [J]. Signal Process, 1998, 66(3): 303-317.
- 9 Pereira S, Pun T. Robust template matching for affine resistant image watermarking [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(6): 1123-1129.
- 10 Kang Xian-gui, Huang Ji-wu, Shi Yun Q et al. A DWT-DFT composite watermarking scheme robust to both affine transform and JPEG compression [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(8): 776-786.
- 11 Kutter M, Bhattacharjee S K, Ebrehimi T. Toward second generation watermarking schemes [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C], Kobe, Japan, 1999, 1: 320-323.
- 12 Bas P, Chassery J M, Macq B. Geometrically invariant watermarking using feature points [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 11(9): 1014-1028.
- 13 Tang C W, Hang H M. A feature-based robust digital image watermarking scheme [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003, 51(4): 950-958.
- 14 Seo J S, Yoo C D. Image watermarking based on invariant regions of scale-space representation [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2006, 54(4): 1537-1549.
- 15 Wood J. Invariant pattern recognition: a review [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(1): 1-17.