

文章编号: 1000-5013(2011)04-0397-04

校正几何失真和像素失真的印刷数字水印算法

张伟龙, 冯桂, 韩霜

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 针对印刷图像存在的几何失真和像素失真问题,提出一种数字水印算法.该算法采用 Harris 角点检测和 Hausdorff 距离来校正几何失真,采用非线性灰度变换来纠正像素失真.水印嵌入算法首先对图像进行一级离散小波变换后,再对低频子图进行奇异值分解;然后,在奇异值上嵌入水印序列,并在提取水印前校正失真.实验表明,该算法对打印扫描具有比较强的鲁棒性,并且能够判断是否二次复印.

关键词: 水印嵌入算法; 数字水印; 离散小波变换; 奇异值分解; 打印; 扫描

中图分类号: TP 391.41; TS 805.4

文献标志码: A

数字水印技术可以将特定信息嵌入到数字作品中,并且能够被提取或者检查.数字水印具有不容易被人的视觉察觉,不影响原作品的使用价值,并达到确认版权所有者和防止作品篡改的目的.在印刷品的防伪领域中,数字水印具有其特别优势,即在不改变现有成熟的印刷工艺、印刷材料及设备的基础就能达到防伪唯一性和防复制的应用.因此,印刷数字水印技术在印刷品防伪领域具有很大的应用价值和研究价值^[1].通过分析打印和扫描对数字图像的影响可知,几何失真和像素失真是印刷品受到的主要攻击,而纠正这两种失真是印刷数字水印关键问题之一.因此,在提取水印前,要先对图像进行像素失真和几何失真校正.基于此,本文提出基于 Harris 角点检测和 Hausdorff 距离来校正几何失真,非线性灰度变换来纠正像素失真的数字水印算法.

1 几何失真和像素失真的校正

1.1 Harris 角点检测

Harris 算子是一种有效的点特征提取算子,只用到灰度的一阶差分及滤波,计算简单,所提取的点特征合理而均匀.因此,对于图像的旋转、灰度变化、噪声影响和视点变化不敏感,是比较稳定的一种点特征提取算子.

Harris 角点检测是一种新的角点判定方法^[2].矩阵 M 的两个特征向量 λ_1 和 λ_2 与矩阵 M 的主曲率成正比,Harris 是利用 λ_1 , λ_2 来表征变化最快和最慢的两个方向.若两个特征向量都很大就是角点,一个大一个小就是边缘,两个特征向量都小就是在变化缓慢的图像区域.因此,先计算每 1 个像素点的相关矩阵 M ,然后计算每像素点的 Harris 角点响应 E .即

$$M = G(s) \otimes \begin{bmatrix} g_x g_x & g_x g_y \\ g_x g_y & g_y g_y \end{bmatrix},$$
$$E = \det(M) - k \text{tr}^2(M).$$

上式中: g_x 为 x 方向上的梯度; g_y 为 y 方向上的梯度; $G(s)$ 为高斯模板; \det 为行列式的直迹; k 为默认的常数,常取 0.04~0.06.

1.2 Hausdorff 距离

Hausdorff 距离^[3]是两组点集之间相似程度的一种量度,不必知道点与点之间的一一对应关系.

因此,采用 Hausdorff 距离描述具有不完全相同点的两组点集之间的相似性,完成它们之间的匹配.

假设有两组集合 $A=\{a_1,\cdots,a_p\},B=\{a_1,\cdots,a_p\}$. 那么,它们之间的 Hausdorff 距离为

$$H(A,B)=\max(h(A,B),h(B,A)).$$

式中: $h(A,B)=\max_{a_i\in A}\min_{b_j\in B}(|a_i-b_j|);h(B,A)=\max_{b_j\in B}\min_{a_i\in A}(|b_j-a_i|)$. 其中: $|\cdot|$ 是 A 点集和 B 点集见的距离范式; $h(A,B)$ 和 $h(B,A)$ 分别是从 A 集合到 B 集合和 B 集合到 A 集合的单向 Hausdorff 距离. 双向 Hausdorff 距离 $H(B,A)$ 是单向距离 $h(A,B)$ 和 $h(B,A)$ 之间较大者,距离越大,两个点集间的不匹配程度越大.

1.3 几何校正算法

采用基于 Harris 角点检测和 Hausdorff 距离来实现几何校正,其算法有如下 2 个主要步骤.

(1) 先对图像进行一级小波分解,可得到一个低频子图;然后,利用 Harris 算法提取低频子图内接圆以内的特征点,作为特征点集 S . 当图像受到几何攻击后,对被攻击的图像,按相同的方法提取特征点集 T .

(2) 如果特征点集 S 和 T 之间的 Hausdorff 距离小于给定阈值,进入水印提取过程;否则,选定旋转的角度的范围和搜索步长,对经过打印扫描的图像重复进行步骤(1),直到满足给定阈值.

对于图像的像素失真,经过打印扫描后,图像的灰度级范围缩小了. 因此,采用非线性灰度变换^[4]对图像的像素失真进行校正,以恢复图像的灰度级. 非线性灰度变换的基本形式为

$$S = cr^\gamma.$$

式中: c,γ 为正常数; γ 为映射曲线的形状参数.

非线性灰度变换算法有如下 2 个主要步骤:

(1) 分别设定调整前后的灰度图像的像素值范围;

(2) 设定映射曲线的形状参数 γ 的搜索范围, γ 值的选取以要调整的图像和调整后的图像的峰值信噪比(PSNR)为参考,使得 PSNR 值为最大的 γ 是最优的映射曲线.

2 水印嵌入与水印检测算法

2.1 水印嵌入算法

水印嵌入算法有如下 6 个主要步骤.

(1) 将原始图像 I 进行一级离散小波(DWT)变换^[5]得到低频子图 C_a ,有

$$[C_a \ C_v \ C_d \ C_h] = DWT(I).$$

(2) 将低频子图 C_a 进行奇异值分解^[6],可得到 \mathbf{V},\mathbf{S} 和 \mathbf{U} 矩阵. 即

$$C_a = \mathbf{V}\mathbf{S}\mathbf{U}^T.$$

(3) 用 1 个密钥产生符合高斯分布的随机序列,作为水印序列 \mathbf{W} .

(4) 将水印序列按公式叠加到奇异值,由于对奇异值最大值做修改,对原图像的视觉效果影响较大. 所以,从第 2 位奇异值开始叠加,则有

$$S'(i,i)=\begin{cases} S(i,i)(1+aW(i-1)), & i=2,2,\cdots,n, \\ S(i,i), & i=n,n+1,\cdots,r. \end{cases}$$

式中: n 为嵌入的水印长度; r 为图像的大小; a 为水印嵌入强度.

(5) 将叠加完得到新的 \mathbf{S}' 进行从大到小的排序,并记录下新的序列在原序列的位置,记为矩阵 \mathbf{Z} ; 然后,利用 \mathbf{V} 和 \mathbf{U} 来重构 C'_a ,有

$$C'_a = \mathbf{V}\mathbf{S}'\mathbf{U}^T.$$

(6) 利用 C_v,C_h 和 C_d 重构图像 I ,即

$$I' = iDWT(C'_a,C_v,C_d,C_h).$$

2.2 水印检测算法

水印检测算法是水印嵌入的逆过程,包括 4 个主要步骤.

(1) 将经过打印扫描后的图像进行一级 DWT 变换,得到低频子图 $C_{a,1}$.

- (2) 将低频子图 $C_{a,1}$ 进行奇异值分解, 可得到 V_1 , S_1 和 U_1 矩阵, 并对 S_1 按矩阵 Z 进行重新排序, 可得到 S_1 .
- (3) 根据奇异值 S 和 S'_1 的对角线的数值来提取水印序列, 有
- $$W_1(i-1) = (\frac{S'_1(i,i)}{S(i,i)} - 1)/a, \quad i = 2, 3, \dots, n.$$
- (4) 计算水印序列 W_1 和 W 的相关值并设定阈值, 以此来判断是否被非法复制过.

3 仿真结果与分析

选取大小为 $512 \text{ px} \times 512 \text{ px}$ 的 Lena, Peppers 和 Baboon 灰度图像作为测试图片, 算法在 Matlab 7.0 上实现. 选取一个初始值, 产生长度 64 的水印序列. 为了防止复制, 在不影响图像视觉效果, 嵌入水印强度应该根据不同的图像选择合适的值. 对于 Lena, Peppers 和 Baboon 灰度图像, 嵌入水印强度值依次选取 0.1, 0.2 和 0.2. 失真角度一般比较小, 在校正几何失真时, 搜索范围选择为 $-5^\circ \sim 5^\circ$. 根据不同的设备, 选择合适的判断非法复制的阈值, 此处其值选择为 0.95.

水印图像使用 EPSON 1390 打印机在普通打印纸上打印输出, 然后用汉王扫描仪扫描输入, 分辨率为 $157.5 \text{ px} \cdot \text{cm}^{-1}$, 将扫描后的数字图像大小调整为 $512 \text{ px} \times 512 \text{ px}$. 嵌入水印前后的图像, 分别如图 1 所示. 图 1 中: 相对于原图, 嵌入水印后 Lena, Peppers 和 Baboon 图像的 PSNR 值依次为 54.13, 51.86 和 56.04. 由图 1 可以看出, 嵌后水印前后的图像的外观视觉效果没有变化.

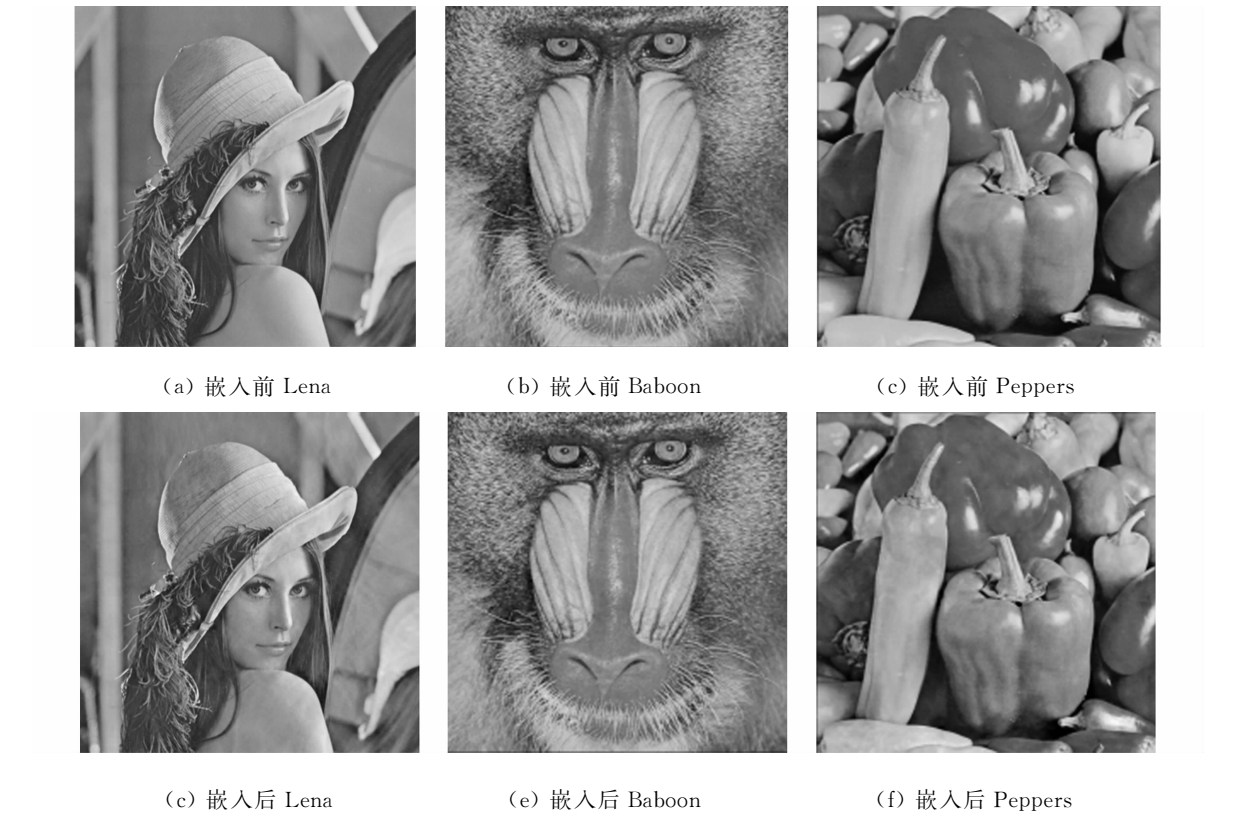


图 1 嵌入水印前后的图像比较

Fig. 1 Comparison between images without and with watermark

非线性灰度变换对打印扫描后提取的图像水印的影响, 结果如表 1 所示. 分析表 1 中数据可知, 如果打印扫描对图像影响较大, 非线性灰度变换可以较大提高提取水印正确率.

经过多次打印扫描后, 测试图像的水印相关值, 如表 2 所示. 从表 2 可以可知, 经过多次打印扫描

表 1 非线性灰度变换对水印提取的影响			
Tab. 1 Affect of non-linear gray transform on watermark extraction			
测试图像	水印相关值		
	Lena	Baboon	Peppers
变换前	0.950	0.971	0.946
变换后	0.970	0.972	0.979

后,图像质量会有明显的变化,人眼能清晰辨别出是否经过二次复制. 因此,选取合适的阈值能够判断是否存在二次复制并防止二次复制. 所以,只要第 1 次和第 2 次的打印扫描有足够的区分度,就能很好地实现防伪功能.

表 2 多次打印扫描的水印相关值
Tab. 2 Watermark correlation of several printings and scanings

测试图像	水印相关值			
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次
Lena	0.970	0.889	0.818	0.768
Baboon	0.972	0.928	0.865	0.740
Peppers	0.970	0.881	0.860	0.690

4 结 束 语

在分析打印扫描对图像的影响的基础上,采用基于 Harris 角点检测和 Hausdorff 距离来校正几何失真,非线性灰度变换来校正像素失真. 实验证明,该算法能够使水印对打印扫描带来的攻击具有鲁棒性,并且能够有效检测出非法复制品.

参考文献:

[1] 孙帮勇,周世生. 数字水印应用于防伪印刷[J]. 今日印刷,2005(6):65-66.
[2] 张晓黎. 一种抗几何失真的水印校正方法研究[J]. 计算机应用与软件,2009,26(7):14-16.
[3] 周志强,汪渤. 一种基于鲁棒 Hausdorff 距离的目标匹配算法[J]. 计算机应用,2009,29(1):86-88.
[4] 冀芊茜. 抗打印扫描数字水印算法研究及其在证件防伪中应用[D]. 长春市:吉林大学,2007.
[5] 师晶,林克正,秦丽萍. 基于 DWT 和 SVD 的改进分块图像水印算法[J]. 哈尔滨理工大学学报,2009,14(5):35-38.
[6] 王玲,王晓建,彭启琮. 半脆弱印刷数字有意义水印算法研究[J]. 电子科技大学学报,2008(S1):37-40.

Printed Digital Watermarking Algorithm Corrects
Geometric Distortion and Pixel Distortion

ZHANG Wei-long, FENG gui, HAN Shuang

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: For printing images with geometric distortion and pixel distortion problem, the paper presents a digital watermarking algorithm. The algorithm uses the Harris corner detection and Hausdorff distance to correct geometric distortion, and the non-linear gray transform to correct pixel distortion. The algorithm firstly decomposes a image by discrete wavelet transform for first order, then carries on singular value decomposition in the low-frequency subgraph, and then embeds watermark sequence in the singular value, and corrects distortion before watermarking extraction. Experiments show that this algorithm is robust for printing and scanning and determine the second copy.

Keywords: embeds watermark algorithm; digital watermarking; discrete wavelet transform; singular value decomposition; printing; scanning

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 吴逢铁)