

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2014.03.002

一种基于奇异值的抗打印/扫描的 彩色图像零水印方案

谢 勇, 张金龙, 张 雯

(湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 为提高水印抗打印/扫描的鲁棒性, 设计了一种抗打印/扫描的彩色图像零水印方案。采用对宿主图像分层、一次 Haar 小波分解、分块、提取每块最大奇异值作为图像纹理特征来构造零水印信息, 及对印品图像分层、亮度调整、一次 Haar 小波分解、分块、提取每块最大的奇异值作为印品图像纹理特征来构造零水印信息。然后对比打印/扫描前后零水印信息的相似性, 若完全相同, 说明此方案抗打印/扫描攻击。试验结果表明, 图像打印/扫描前后的零水印信息完全相同, 该方案具有理想的抗打印/扫描性能。

关键词: 抗打印/扫描攻击; 零水印; 奇异值; 彩色图像

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2014)03-0010-04

A Zero-Watermark Scheme Based on Singular Value of the Resistance to Printing/Scanning Color Image

Xie Yong, Zhang Jinlong, Zhang Wen

(School of Packaging and Material Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: A zero-watermarking scheme for color images to resist printing/scanning attack is designed in order to improve watermark robustness to resist printing/scanning attack. After the host images are layered, decomposed by Haar wavelet once and partitioned, the maximum singular value of each block is obtained as an image feature to construct zero-watermarking information. The detection process of watermarking is to layer the printed images, to adjust their brightness, to decompose them by Haar wavelet once, to partition them, and then to extract the maximum singular value of each block as features of printed images to construct zero-watermarking information of the printing/scanning image. The similarities of zero-watermark information before and after printing/scanning are compared. If identical, it indicates that the scheme could resist printing/scanning attack. As the experiment results show, zero watermark information of the host image before and after printing/scanning is identical which indicates the scheme has the ideal performance in resisting printing/scanning attack.

Key words: resist the printing/scanning attack; zero-watermarking; singular value; color image

收稿日期: 2014-03-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61170101)

作者简介: 谢 勇(1964-), 男, 湖南攸县人, 湖南工业大学教授, 硕士生导师, 主要从事包装防伪技术及防振缓冲材料方面的教学与研究, E-mail: hutxy@126.com

通信作者: 张金龙(1986-), 男, 河南商水人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为包装防伪技术, E-mail: zhangjlyh@126.com

0 引言

数字水印技术^[1]是信息隐藏技术研究领域的一个重要分支,它通过一定的算法,将水印信息嵌入被保护的数字多媒体对象中,以证明版权归属或者跟踪侵权行为。为了保护版权所有者的合法权利,把特定的水印信息嵌入被保护的产品中,以防发生非法侵权行为时无特定的鉴定证据,保护版权所有者的。嵌入水印信息后,图像的空域信息或频域信息都会被修改,这些修改都会导致图像的失真^[2-6]。零水印算法却能避免这种失真现象,这是因为零水印算法不会对图像进行任何修改,而是仅以图像自身纹理特征的主要信息来构造水印^[7-9]。零水印的出现,弥补了数字水印技术的不足,促进了防伪技术的发展。

目前,国内外已经研发出多种抗打印/扫描的数字水印算法^[10-14]。如牛少彰等人^[12]通过调整离散余弦变换(discrete cosine transformation, DCT)域中频系数分类中的系数正负号数量,嵌入水印;葛云露等人^[13]结合Walsh函数的严格正交性,在离散小波变换(discrete wavelet transformation, DWT)低频逼近子带自适应加性,嵌入水印;谭论正等人^[14]通过调整DWT域细节子带系数的正负号数量,嵌入水印。然而,已报道的能抵抗打印/扫描攻击的鲁棒性数字水印算法研究仍然比较少,而且未见对图像自身纹理特征的奇异值在打印/扫描前后的变化进行研究的报导。因此,本文提出了一种基于奇异值的彩色图像零水印方案,并通过打印/扫描试验验证该方案的抗打印/扫描的性能。

1 方法

1.1 奇异值分解

将一幅图像表示为非负矩阵 M , $M \in R^{n \times n}$, 其中 R 表示实数域。则矩阵 M 的奇异值分解为 $M=USV^T=[u_1, u_2, \dots, u_n]$, 其中 $U \in R^{n \times n}$ 和 $V \in R^{n \times n}$ 均为酉矩阵,上标 T 表示矩阵转置, $S \in R^{n \times n}$ 为对角阵。若矩阵 M 的秩为 r ,则 S 对角线上元素 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \geq \dots \geq \sigma_r \geq \sigma_{r+1} = \sigma_{r+2} = \dots = \sigma_n = 0$, σ_i 为奇异值,也是 AA^T 的特征值的非负平方根,因而被唯一确定。

奇异值具有以下特性^[15]: 矩阵前若干奇异值大于**其他奇异值**; **最大奇异值** σ_1 相对于矩阵 S 的其他值而言,对图像的影响占主导地位;在传统的基于奇异值分解的水印算法中,一般不改变 σ_1 的值,它包含图像绝大部分的信息。因此, σ_1 具有比其他奇异值更好的稳健性。

1.2 零水印的构造和检测

1.2.1 构造

步骤1 对宿主图像 I 进行 R, G, B 分通道处理,得到分层后的图像 I_R, I_G, I_B ;

步骤2 对 I_R, I_G, I_B 分别作一层Haar小波分解(如图1),获得高频部分 I_RHH, I_GHH, I_BHH 。经过Haar小波分解后,图像最主要的部分主要集中在低频子图中,细节部分主要体现在高频子图中,这种分布给图像处理带来极大的方便。图像的低频部分往往容易受到各类攻击,而高频部分受攻击影响较小,因此选择高频部分作为研究对象。

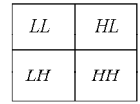


图1 一级 Haar 小波分解示意图
Fig. 1 The diagram of a wavelet decomposition

步骤3 对 I_RHH, I_GHH, I_BHH 分别进行 3×3 分块,并计算每块的最大奇异值,记 R, G, B 3通道的最大奇异值矩阵为 V_R, V_G, V_B ;

步骤4 由于不同图像 R, G, B 3个通道灰度值所占比例不固定,应用如下操作来估算打印/扫描过程中3个通道所需碳粉量的比例,记作 $\delta_R, \delta_G, \delta_B$: 1) 统计3个通道的像素值,记为 P_R, P_G, P_B ; 2) 根据色料减色法原理,应用如下公式粗略估算3个通道所需碳粉量的比例:

$$\begin{aligned} \delta_R &= (P_G + P_B) / (P_R + P_G + P_B), \\ \delta_G &= (P_R + P_B) / (P_R + P_G + P_B), \\ \delta_B &= (P_G + P_R) / (P_R + P_G + P_B). \end{aligned}$$

步骤5 对步骤3中获得的最大奇异值矩阵 V_R, V_G, V_B 作加权,获得加权后的最大奇异值矩阵 V ,公式如下:

$$\begin{aligned} V_R &= V_R \times \delta_R; & V_G &= V_G \times \delta_G; \\ V_B &= V_B \times \delta_B; & V &= V_R + V_G + V_B. \end{aligned}$$

步骤6 在 3×3 的最大奇异值矩阵 V 中,以中间的奇异值 V_{22} 为阈值,大于等于它的记为1,否则为0,然后按照图2所规定的顺序进行排列,构造一个9位的二值序列信息编码 S 。

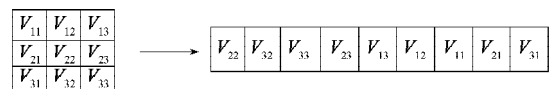


图2 二值信息编码方法

Fig. 2 The method of binary information code

1.2.2 检测

图像经过打印扫描之后,整体亮度降低了,图像的细节部分变得模糊不清。此时,可以通过亮度变换函数来恢复打印/扫描后图像的亮度,校正图像的像素失真。试验证明^[16]: 在 $\gamma=0.80$ 时,打印/扫描后图像的峰值信噪比的值是最大的,即打印/扫描

后图像的质量最接近于宿主图像的质量。对经预处理后的打印/扫描图像进行零水印检测,方法同前,同样可得到一个9位的二值序列信息编码 S^* 。

2 试验

2.1 试验结果

为了验证本文提出方案的性能,选取了 258×258 的Caster Original, Iris, Lena, Peppers 4幅标准图像作为宿主图像(如图3所示)进行仿真试验。仿真编程软件选用 matlab 2013a, 打印机型号为 HP LaserJet Pro CP1025, 扫描仪型号为 Canon Scan 9000F。经过打印/扫描后的结果图像如图4所示,图5和表1为对应的测试结果。

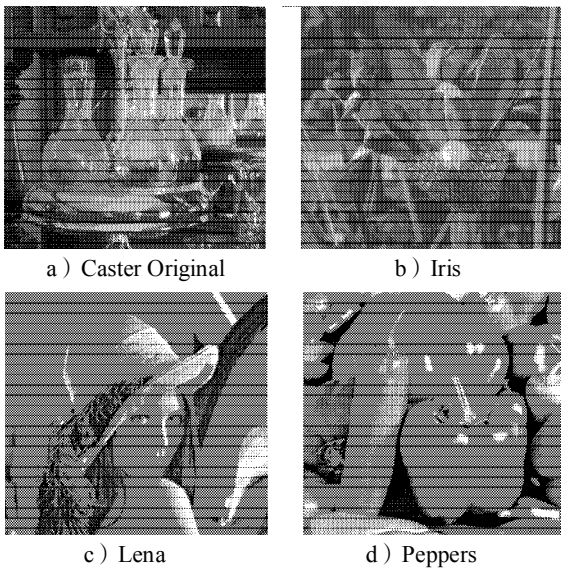


图3 宿主图像
Fig. 3 Host images

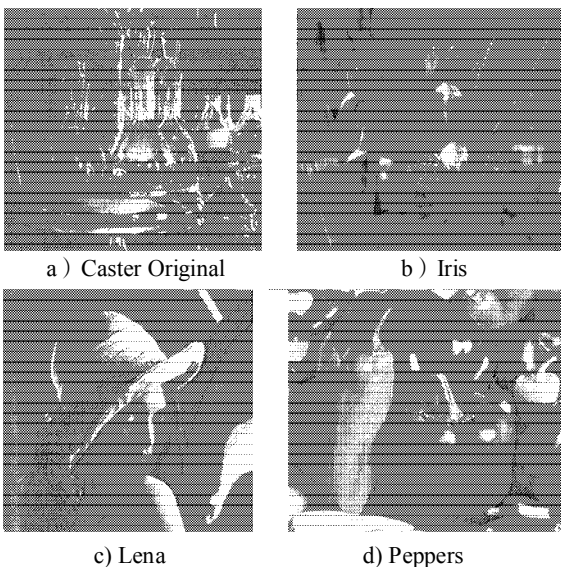


图4 打印/扫描后的图像
Fig. 4 The printing/scanning images

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

a) Caster Original b) Iris c) Lena d) Peppers

图5 宿主图像及其打印/扫描图像的二值信息

Fig. 5 The binary information of host images and the printing/scanning images

表1 宿主图像及其打印/扫描图像的二值信息编码
Table 1 The binary information codes of host images and the printing/scanning images

| 测试图像 | 二值信息编码 | |
|-----------------|-----------|-----------|
| | 宿主图像 | 打印/扫描图像 |
| Caster Original | 101101000 | 101101000 |
| Iris | 100000000 | 100000000 |
| Lena | 100000001 | 100000001 |
| Peppers | 100000000 | 100000000 |

2.2 结果分析

打印/扫描过程是数字图像向模拟图像转换和模拟图像向数字图像转换的过程。在转换过程中,会受到很多攻击方式的影响:低通滤波攻击表现为打印后对水印图像低频成分的影响较小,即集中反映图像信息的基本部分被保存下来,但对图像的中高频域的系数影响较大,打印作品的高频细节部分丢失;噪声干扰的攻击会使得打印后的图像变得模糊;半色调攻击会使得图像的像素值失真;几何攻击(旋转、缩放、平移等)会使得打印后的图像发生旋转、歪斜、弯曲一定的角度等。

为了消除打印/扫描过程中攻击方式的影响,在检测打印/扫描后图像的零水印时作如下处理:

- 1) 对图像进行通道分离,以便图像的后续处理;
- 2) 调整分层图像的亮度,一定程度弥补图像的像素失真,使印品图像清晰可见。

3) 进行一次 Haar 小波分解。因为 Haar 小波分解具有消除噪声和增强图像的作用,这样可以还原打印/扫描过程中低通滤波攻击和噪声攻击造成的影响,使图像尽可能地还原为接近于打印/扫描前的图像质量。

表1所示试验结果证明:在打印/扫描前后,不同图像的二值信息编码是完全相同的。

3 结语

抗打印/扫描的强鲁棒性数字水印技术在印刷品防伪领域中具有很大的实用价值。本文利用图像分块后,所有子块在打印/扫描前后基于奇异值的二值信息编码的稳定性,提出了一种基于奇异值的抗打印/扫描的彩色图像零水印方案。该方案对图像进

行 3×3 分块, 提取每块的最大奇异值, 以中间块奇异值为阈值, 按照特定顺序构造二值信息编码, 并以此作为零水印信息。试验结果表明, 该方案具有理想的抗打印/扫描性能。

参考文献:

- [1] 金聪. 数字水印理论与技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 6-19.
Jin Cong. Theory and Technology of Digital Watermarking [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008: 6-19.
- [2] 孙利, 姚汝贤. 基于小波变换的数字水印算法研究[J]. 天中学刊, 2009, 24(2): 28-29.
Sun Li, Yao Ruxian. Research on Digital Watermarking Image: From the Aspect of Wavelet Transform[J]. Journal of Tianzhong, 2009, 24(2): 28-29.
- [3] Barni M. Effectiveness of Exhaustive Search and Template Matching Against Watermark Desynchronization[J]. Signal Processing Letters, 2005, 12(2): 158-161.
- [4] Srdjan Stankovic, Igor Djurovic, Ioannis Pitas. Watermarking in the Space/Spatial-Frequency Domain Using Two Dimensional Radon-Wigner Distribution[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(4): 650-658.
- [5] 张小华. 基于数字水印的图像认证技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2004.
Zhang Xiaohua. Image Authentication Technology Based on Digital Watermarking[D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2004.
- [6] 吴爱弟, 崔英俊, 刘赛君. 数字水印技术及其应用综述[J]. 天津工程师范学院学报, 2007, 17(1): 12-16.
Wu Aidi, Cui Yingjun, Liu Saijun. Digital Watermarking Technology and Its Application[J]. Journal of Tianjin University of Technology and Education, 2007, 17(1): 12-16.
- [7] 温泉, 孙钺锋, 王树勋. 零水印的概念与应用[J]. 电子学报, 2003, 31(2): 214-216.
Wen Quan, Sun Tanfeng, Wang Shuxun. Concept and Application of Zero-Watermark[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(2): 214-216.
- [8] 杨树国, 李春霞, 孙枫, 等. 小波域内图象零水印技术的研究[J]. 中国图像图形学报, 2003, 8(6): 664-669.
Yang Shuguo, Li Chunxia, Sun Feng, et al. Study on the Method of Image Non-Watermark in DWT Domain[J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 8(6): 664-669.
- [9] 刘小凤. 基于主成分分析的零水印算法[J]. 电脑开发与应用, 2010, 23(3): 24-26, 29.
Liu Xiaofeng. Zero-Watermark Algorithm Based on Principle Components Analysis[J]. Computer Development & Applications, 2010, 23(3): 24-26, 29.
- [10] 肖颖喆, 王娟娟. 抗打印/扫描数字水印技术的研究进展[J]. 包装学报, 2012, 4(3): 49-53.
Xiao Yingzhe, Wang Juanjuan. Research Progress of Print-Scan Resistant Digital Watermarking Technology[J]. Packaging Journal, 2012, 4(3): 49-53.
- [11] Singh P, Chadha R S. A Survey of Digital Watermarking Techniques, Applications and Attacks[J]. International Journal of Engineering and Innovative Technology, 2013, 2(9): 165-175.
- [12] 牛少彰, 伍宏涛, 谢正程, 等. 抗打印扫描数字水印算法的鲁棒性[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43(增刊2): 1-4.
Niu Shaozhang, Wu Hongtao, Xie Zhengcheng, et al. Robustness Investigation of Digital Watermarking Algorithm for Print-and-Scan Process[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2004, 43(S2): 1-4.
- [13] 葛云露, 年桂君, 王树勋. 基于 Walsh 编码调制的抗打印扫描数字水印算法[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2007, 37(增刊1): 197-200.
Ge Yunlu, Nian Guijun, Wang Shuxun. Walsh Modulating Watermarking Algorithm for Image Print-and-Scan Process [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2007, 37(S1): 197-200.
- [14] 谭论正, 朱宁波, 孙星明. 基于文档图像的抗打印-扫描数字水印技术[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(12): 199-200.
Tan Lunzheng, Zhu Ningbo, Sun Xingming. Digital Watermarking for Print and Scan Process Based on Document Image[J]. Application Research of Computers, 2007, 24(12): 199-200.
- [15] 李学斌, 俞登峰, 程亮. 基于奇异值分解的零水印算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(11): 163-165, 177.
Li Xuebin, Yu Dengfeng, Cheng Liang. Zero-Watermark Algorithm Based on SVD[J]. Computer Engineering, 2009, 35(11): 163-165, 177.
- [16] 王牧. 抗打印扫描数字水印系统的设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
Wang Mu. Design and Implementation of Anti-Print Scan Digital Watermarking System[D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2010.

(责任编辑: 廖友媛)

