

强鲁棒性 QR 码水印技术

王子煜, 孙刘杰, 李孟涛

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 提出了一种增强数字水印系统鲁棒性的数字水印技术。算法将标识信息编码为快速响应矩阵码(QR 码), 将其作为数字水印, 利用离散小波变换方法将 QR 码嵌入到了载体图像二级小波分解后的中频系数中, 在保证水印不可见性的前提下能增强水印的鲁棒性。设计了对比实验, 实验结果表明, 将 QR 码作为数字水印, 能增强水印安全性和鲁棒性, 且该方法适用于任何水印算法。

关键词: 快速响应矩阵码; 数字水印; 离散小波变换; 鲁棒性

中图分类号: TS853⁺.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)15-0084-04

QR Code Watermark Technology with Strong Robustness

WANG Zi-yu, SUN Liu-jie, LI Meng-tao

(Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: A digital watermarking technology was put forward, which can enhance the robustness of digital watermarking system. This method encodes the watermark information as quick response code (QR Code) and embeds the QR code as a digital watermark into the intermediate frequency of the digital image by two discrete wavelet transform. This method increases the robustness under the premise of invisibility. Comparative experiment was carried out and the results showed that QR code as a digital watermark increases the security and robustness, and is applicable for any kind of watermarking algorithm.

Key words: quick response code; digital watermarking; discrete wavelets transform; robustness

数字水印技术是利用人类感觉器官的不明感特性以及数字信号本身存在的数据冗余, 通过一定的算法将标识信息隐藏在数字图像、视频、音频等数字产品中, 该技术能实现数字产品的产权保护和篡改鉴定。二维条码技术是在计算机图像处理技术、组合编码原理等基础上发展起来的一种标准化信息存储和自动识别技术。以其信息容量大, 编码范围广, 纠错能力强, 具有一定防伪能力等性能, 得到了广泛的应用。在这此基础上, 笔者提出了将快速响应矩阵码(QR 码)作为数字水印以增强水印鲁棒性的技术。

2 个方面, 而这两者一般是相互矛盾的。通常, 水印嵌入强度越大, 鲁棒性越好, 但不可见性就越差。利用 QR 码作为数字水印, 很好地解决了这一矛盾。

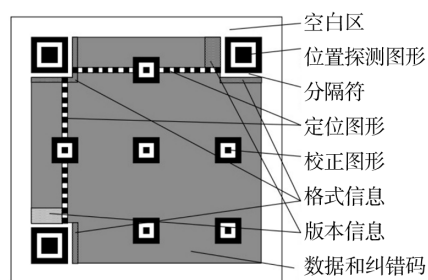


图 1 QR 码结构示意图

Fig. 1 Sketch map of QR code structure

1 技术的可行性分析

水印系统的评估主要包括不可见性和鲁棒性等

首先, QR 码通过水平和垂直 2 个方向上来存储

收稿日期: 2012-05-10

基金项目: 上海市研究生创新基金项目(JWCXSL1202); 上海市教委重点课程(1K-11-309-001); 上海理工大学核心课程(1K-00-309-007)

作者简介: 王子煜(1988—), 女, 宁夏银川人, 上海理工大学硕士生, 主攻数字图像处理、数字水印。

数据,信息容量大,可以放入 1 817 个汉字,7 089 个数字,4 296 个英文字母,且 QR 码是二值图像,可以直接作为数字水印图像。其次,QR 码利用 RS(Reed-Solomon)纠错算法实现纠错,最高能纠错 30% 的码字信息,使得 QR 码因穿孔、污损等引起局部损坏时,照样可以正确识读。

综上所述,将二维条码作为水印嵌入到载体图像中,可很大程度上增加水印容量,并且由于在一定受损范围内,条码较强的纠错能力能使丢失的信息得到最大限度恢复,使得所携带的水印信息可以被完整地保存下来,从而在保证不可见性的前提下,很大程度地增强了水印的鲁棒性。由此可知,二维条码作为数字水印是可行的。

2 技术的实现

2.1 嵌入算法

1) 将水印信息编码为 QR 码,用 Arnold 置乱技术对 QR 码进行加密。

2) 对彩色载体图像的蓝色通道图像进行二级小波分解,得到各级小波分解系数 $d_l^{\theta}(i, j)$,其中字母 l 取 1, 2, 表示小波分解层数; θ 取 0, 1, 2, 3, 分别表示低频、水平、垂直和对角线方向的小波系数。然后将第 2 级的中频系数矩阵按水印图像的大小分割成互不重叠的子块 $d_{2,m,n}^1(i, j)$,其中 m, n 是子块的坐标, i, j 是对应子块内的系数坐标。选择其作为 QR 码的嵌入位置,并将其矩阵按水印图像的大小分割成大小相等且互不重叠的 4 个子块。

3) 在 DWT 域的第 2 级中频系数的各个子块内重复嵌入加密后的 QR 码^[6]。设定一个阈值 T ,当嵌入时的水印信息为 0 时,若 $\text{mod}(d_{2,m,n}^1(i, j), T) < 3T/4$,则 $d_{2,m,n}^1(i, j) = d_{2,m,n}^1(i, j) - \text{mod}(d_{2,m,n}^1(i, j), T) + T/4$; 若 $\text{mod}(d_{2,m,n}^1(i, j), T) \geq 3T/4$,则 $d_{2,m,n}^1(i, j) = d_{2,m,n}^1(i, j) - \text{mod}(d_{2,m,n}^1(i, j), T) + 5T/4$ 。当嵌入时的水印信息为 1 时,若 $\text{mod}(d_{2,m,n}^1(i, j), T) < T/4$,则 $d_{2,m,n}^1(i, j) = d_{2,m,n}^1(i, j) - \text{mod}(d_{2,m,n}^1(i, j), T) - T/4$; 若 $\text{mod}(d_{2,m,n}^1(i, j), T) \geq T/4$,则 $d_{2,m,n}^1(i, j) = d_{2,m,n}^1(i, j) - \text{mod}(d_{2,m,n}^1(i, j), T) + 3T/4$ 。

4) 进行二级小波重构得到嵌入水印后的蓝色通道图像,合并通道得到嵌入水印后的彩色图像。

2.2 提取算法

1) 对嵌入水印的彩色载体图像的蓝色通道图像

进行二级小波分解,然后将第 2 级的中频系数矩阵按分割成大小相等的 4 个子块。

2) 水印提取时,若 $\text{mod}(d_{2,m,n}^1(i, j), T) \leq T/2$,则水印信息为 0,否则为 1。

3) 解密后得到原始 QR 码图像。

4) 将 QR 码译码,得到水印信息。

2.3 评价

1) 采用峰值信噪比(PSNR)客观评价原始彩色图像与嵌入水印后的载体图像之间的差别。彩色图像的 PSNR 计算公式如下:

$$\text{PSNR} = 10 \lg \frac{255^2}{[(\text{MSE}(R) + \text{MSE}(G) + \text{MSE}(B))/3]} \quad (1)$$

其中的均方差(MSE)计算公式为:

$$\text{MSE} = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [X^*(i, j) - X(i, j)]^2 \quad (2)$$

其中, $X^*(i, j)$ 表示嵌入水印后图像的 R, G, B 分量的像素值,表示原始水印图像的 R, G, B 分量的像素值。

2) 采用归一化相似度(NC)对提取后的水印图像和原始水印图像的相似性进行客观评价,公式为:

$$\text{NC} = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N w(x, y) w'(x, y)}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N w(x, y) w(x, y)} \quad (3)$$

其中用 $w(i, j)$ 代表原始水印信息,用 $w'(x, y)$ 表示提取的水印信息。

3 实验

3.1 设计对比实验

设定水印信息为“印刷光学工程”,分别将其生成 QR 码图像(A 型水印)和制作成与 QR 码的格式、大小相同的普通水印图像(B 型水印)。实验所使用的 QR 码按照 GB/T 18284—2000 中相关规定进行编码,编码时,选择纠错等级为 25%,版本为 1。编码后修改 QR 码大小为 128×128 像素。制作的普通水印为 128×128 像素的二值图像。载体图像为 $1\,024 \times 1\,024$ 像素的彩色 Lena 图像。实验用图见图 2。

3.2 实验结果与分析

3.2.1 不可见性比较

从图 3 可以看出,原始图像和嵌入水印后的图像基本一样,人眼感觉不到二者的差异,说明了水印具



图 2 实验用图像
Fig. 2 Images for experiment



图 3 水印技术实现
Fig. 3 Implementation of the watermark technology

有较好的主观质量。从客观评价的计算数据看出,图 3a 嵌入水印后的图像的峰值信噪比为 32.253 8 dB,图 3b 的嵌入水印后的图像的峰值信噪比为 32.270 6 dB,提取的水印图像与原始水印图像的归一化相似度均为 1。综上所述,该水印算法具有良好的不可见性。

3.2.2 鲁棒性比较

1) JPEG 有损压缩攻击:对含水印图像进行 70%,50%,30%质量的有损压缩攻击。30%质量的有损压缩时,提取出的 A 型和 B 型水印的对比见图 4a。

2) 椒盐噪声攻击:加入椒盐噪声强度分别为 5%,10%,15%。添加 15%椒盐噪声时,提取出的 A 型水印和 B 型水印的对比见图 4b。

3) 高斯噪声攻击:加入高斯噪声强度分别为 0.01,0.02,0.03,0.04。添加强度为 0.04 的高斯噪声时,提取出的 A 型水印和 B 型水印的对比见图 4c。

4) 剪切攻击:分别对含水印图像剪切 25%,50%。剪切 1/2 后,提取出的 A 型和 B 型水印的对比见图 4d。

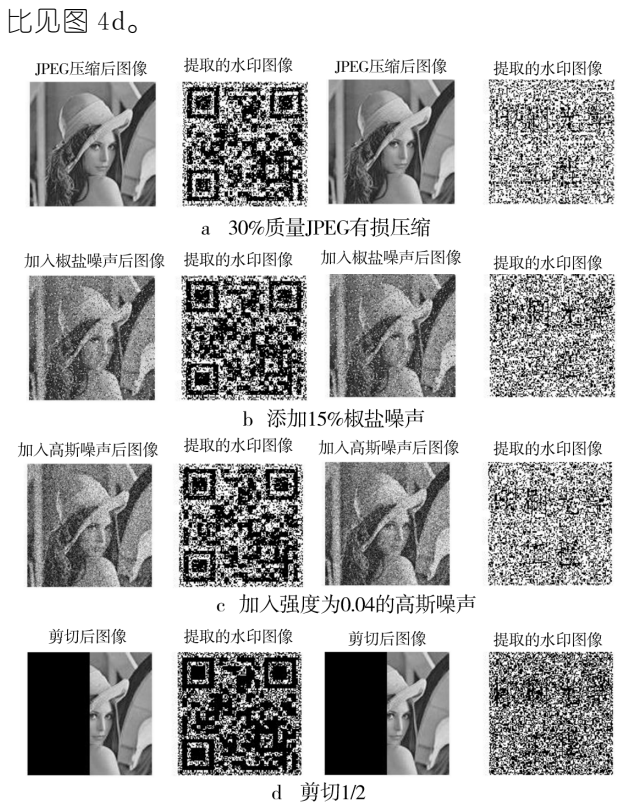


图 4 2 种水印的攻击实验结果对比
Fig. 4 Comparison of experimental results of watermarking attacks

实验数据见表 1。

表 1 水印攻击实验结果

Tab.1 Experimental results of watermarking attacks						
攻击方式	A 型水印			B 型水印		
	NC	PSNR /dB	译码 结果	NC	PSNR dB	译码 结果
JPEG 压缩 70%	0.914 2	28.942 4	可以	0.913 0	28.942 4	可以
JPEG 压缩 50%	0.817 9	28.932 5	可以	0.816 9	28.897 3	不可以
JPEG 压缩 30%	0.695 7	28.533 7	可以	0.696 6	28.533 7	不可以
椒盐噪声 5%	0.965 2	17.889 1	可以	0.963 4	17.890 3	可以
椒盐噪声 10%	0.817 8	15.061 6	可以	0.816 5	15.062 1	不可以
椒盐噪声 15%	0.641 2	13.345 3	可以	0.643 6	13.345 7	不可以
高斯噪声 (0.01)	0.991 3	19.707 0	可以	0.991 4	19.709 8	可以
高斯噪声 (0.02)	0.902 8	17.111 2	可以	0.900 7	17.108 7	可以
高斯噪声 (0.03)	0.778 9	15.585 7	可以	0.775 2	15.595 7	不可以
高斯噪声 (0.04)	0.668 6	14.533 8	可以	0.672 6	14.538 0	不可以
剪切 1/4	0.999 1	11.266 4	可以	0.999 3	11.266 7	可以
剪切 1/2	0.506 3	8.954 6	可以	0.503 4	8.954 7	不可以

通过表 1 可以看出,利用 QR 码作为水印的水印算法,具有良好的不可见性,并且与普通水印相比,该 QR 码水印能利用其纠错性能,在遭受攻击的情况下译码出水印中携带的标识信息。由此可知,该 QR 码水印技术比普通水印具有更强的安全性和鲁棒性。

4 小结

提出了一种增强水印鲁棒性的 QR 码水印技术。该技术将 QR 码作为数字水印,利用 QR 码的纠错性能提高水印的安全性和鲁棒性,利用离散小波变换方法兼顾水印的不可见性和鲁棒性。从理论上分析了该水印技术的可行性,并用仿真实验证明了该 QR 码水印技术比普通水印技术具有更强的抗 JPEG 有损压缩、椒盐噪声、高斯噪声和剪切攻击的能力。

该水印算法载体图像为彩色,在提取水印时,不需要原始图像参与,属于盲水印,且该方法对水印算法没有依赖性,可以适用于任何水印算法,因此具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] GB/T 18284—2000,快速响应矩阵[S].
GB/T 18284—2000,QR Code[S].
- [2] FENG Xiao-fei,JI Xing-zhong. A Blind Watermarking Method with Strong Robust Based on 2D-barcode[C]. 2009 International Conference on Information Technology and Computer Science,2009:452—456.
- [3] HAN Su-yong,JUNG Eui-Hyun,CHO Seong-yun. A Robust Digital Watermarking Adopting 2D Barcode [C]. Lecture Notes in Computer Science,3691 LNCS,2005:717—723.
- [4] VONGPRADHIP S,RUNGRAUNGSILP S. QR Code Using Invisible Watermarking in Frequency Domain[C]. 2011 Ninth International Conference on ICT and Knowledge Engineering,2012:47—52.
- [5] WANG Hui-qin,SHANG Fei,JI Qi-chun, et al. Robust Digital Watermarking Adopting Barcode in Image[C]. The 1st International Conference on Information Science and Engineering (ICISE2009). 2009:660—662.
- [6] 于帅珍,沈建国. 一种基于 DWT 的彩色图像数字水印方案[J]. 计算机工程与应用,2007,43(10):84—86,92.
YU Shuai-zhen,SHEN Jian-guo. Watermark Algorithm Based on DWT for Color Image[J]. Computer Engineering and Applications,2007,43(10):84—86,92.
- [7] 高发东,黎绍发,沈既武,等. 基于视觉和二维条形码的数字水印[J]. 计算机工程与应用,2003(28):28—31.
GAO Fa-dong,LI Shao-fa,SHEN Ji-wu, et al. Digital Water Marking Based on HVS and 2-Dimensional Bar Code[J]. Computer Engineering and Applications,2003(28):28—31.
- [8] 肖菲菲,刘真. 二维码防伪技术在可变数据印刷中的应用[J]. 包装工程,2011,32(21):102—109.
XIAO Fei-fei,LIU Zhen. Application of Anti-counterfeiting Technology Based on Two-dimensional Bar Code in Variable Data Printing[J]. Packing Engineering,2011,32(21):102—109.
- [9] 冯汉禄,黄颖为,牛晓娇,等. QR 码纠错码原理及实现[J]. 计算机应用,2011,31(增刊):40—42.
FENG Han-lu,HUANG Ying-wei,NIU Xiao-jiao, et al. Principle and Implementation of Error Correcting Coding of QR Code[J]. Journal of Computer Applications,2011,31(Suppl. 1):40—42.
- [10] 彭彬,费逸伟,唐华强. 颜色相似性度量在喷气燃料银片腐蚀等级识别中的应用[J]. 表面技术,2012,40(2):104—107.
PENG Bin,FEI Yi-wei,TANG Hua-qiang. An Application of Color Similarity Measurement In Recognition of Jet Fuel Silver Corrosion[J]. Surface Technology,2012,40(2):104—107.

(上接第 67 页)

YANG Qing-hai,QI Guo-ning,HUANG Zhe-ren, et al. Evaluation Method of Machine Hour of Part Based on Case-based Reasoning and SML[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering,2007,43(5):99—105.

- [9] 苏艳,胡秉飞,舒畅,等. 涂层“三防性能”与实际服役环境适应性对比研究[J]. 表面技术,2009,38(6):16—18.
SU Yan,HU Bing-fei,SHU Chang, et al. The Contrast Research on Tri-proof Property of Coating and Its in-service Environmental Worthiness[J]. Surface Technolo-