

# 基于离散小波变换的 QR 二维条码防伪技术

谢荣生, 赵欢喜, 吴克寿

(厦门理工学院计算机科学与技术系, 福建 厦门 361024)

**摘 要:** 基于数字水印的快速响应矩阵(QR)二维条码防伪技术的水印容量低、防伪效果差。为解决该问题, 提出 QR 码二值图像 Rand 灰度化和背景图灰度化方法, 以提高防伪水印容量。QR 码二值图像灰度化的程度由灰度化阈值决定, 并且可以根据实际应用需要灵活确定。在此基础上, 设计基于离散小波变换的 QR 二维条码防伪水印方案, 通过量化函数实现水印的嵌入和检测, 利用混沌密钥生成的二维混沌序列控制水印嵌入和检测的位置。实验结果表明, 该方案在确保条码信息可识别的条件下, 提高了 QR 码防伪水印的性能。

**关键词:** 数字水印; 防伪; 快速响应矩阵码; 二值图像; 离散小波变换; 二维条码

## QR 2D Barcode Anti-counterfeiting Technique Based on Discrete Wavelet Transform

XIE Rong-sheng, ZHAO Huan-xi, WU Ke-shou

(Department of Computer Science and Technology, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China)

**【Abstract】** The Quick Response(QR) barcode anti-counterfeiting technique based on digital watermarking provides low watermarking capacity, and its anti-counterfeiting performance is poor. To solve the problem, Rand-graying method and background-image-graying method are proposed for QR binary images to increase watermarking capacity. The graying extent for QR binary image is determined by the graying threshold which can be selected according to specific application. Based on the graying methods, the anti-counterfeiting QR 2D barcode watermarking scheme based on Discrete Wavelet Transform(DWT) is designed. In the proposed scheme, watermarks embedding as well as watermarking detection are made by a quantization function. In addition, the positions for watermarking are determined by 2D chaos sequence generated from well designed chaos keys. Experimental result shows that the proposed watermarking scheme for QR 2D barcode improves anti-counterfeiting performance without loss of any bar code information.

**【Key words】** digital watermarking; anti-counterfeiting; Quick Response(QR) code; binary image; Discrete Wavelet Transform(DWT); 2D barcode

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2013.12.027

### 1 概述

二维条码是在传统的一维条码技术的基础上发展起来的一种容编码、印刷、识别数据采集与处理一体化的自动识别技术, 它具有储存量大、保密性高、追踪性高、抗损性强、成本便宜等特性, 在物流、邮政、证件、电子票业务等领域将得到广泛应用。二维条码虽然完成了条码技术从对“物品”进行标记描述的工具, 到对“物品”信息存储和识别的工具这一质的飞跃, 但是二维条码本身易被复制和伪造, 并不是一种严格的信息防伪技术。其公开的数据信息转换方法决定了其不可能单独胜任信息隐藏及防伪

等使命。随着现代科技的发展, 伪造技术趋于高科技化, 由此产生的危害越来越严重, 二维条码的应用受到很大的限制。因此, 如何提高二维条码的防伪性能成为条码技术研究和应用的一个重点。

数字水印是当前信息化时代和数字化社会版权保护、防伪认证的关键技术, 它已经引起众多高校、科研院所和专家学者广泛而深入的研究, 是近年来电子信息领域的一个重要研究热点。将数字水印技术引入到二维条码信息防伪中已经得到了不少研究人员的关注。

快速响应矩阵(Quick Response, QR)二维条码除具有其他二维条码所具有的信息容量大的特点外, 还具有可靠性

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60903203); 福建省教育厅 JK 类科技基金资助项目(JK2012044); 厦门市科技计划基金资助项目(3502Z20103036)

**作者简介:** 谢荣生(1972—), 男, 副教授、博士后, 主研方向: 数字水印, 图形图像处理; 赵欢喜、吴克寿, 副教授、博士

**收稿日期:** 2012-11-20 **修回日期:** 2013-01-11 **E-mail:** rsxie@xmut.edu.cn

高、可表示汉字及图像信息、保密防伪性强、识读速度快、数据密度大、占用空间小、纠错功能强、全方位识读等优点。因此, QR 二维条码得到了国内最为广泛的关注, 成为二维条码研究和应用的热点。二维条码应用前景十分广阔, 其中, QR 码是最具应用潜力的二维条码技术。QR 条码防伪问题的解决, 必然促进它在物流、超市、票务、证件等诸多领域的推广应用。

本文在分析现有的基于数字水印的 QR 码防伪技术基础上, 提出 2 种 QR 码二值图像灰度化方法。经灰度化处理后的 QR 码适合在变换域内进行水印的嵌入, 并在此基础上设计基于离散小波变换(Discrete Wavelet Transform, DWT)的防伪水印方案。

## 2 基于数字水印的 QR 码防伪研究现状

基于数字水印的二维条码技术研究的是在二维条码中嵌入用于防伪的数字水印, 从而解决二维条码易被复制和伪造的问题。研究的关键问题是: (1)二维条码的可识别性: 水印的嵌入不能影响二维条码的识别。因此, 要充分利用二维条码的特性, 采用合适的水印嵌入方法, 使得嵌入水印后的二维条码仍然能够正确识别出来。(2)提高水印容量。二维条码归根结底就是冗余度极低的黑白二值图像, 二值图像冗余度很低, 水印容量严重受限。对于防伪水印系统来说, 嵌入的水印越少, 防伪性能就越差。因此, 要充分利用二维条码的特性, 尽量提高二维条码的水印容量。

从此方向研究的二维条码类型上看, 现有文献都毫无例外地集中在 PDF417<sup>[1-2]</sup>和 QR 码<sup>[3-4]</sup>上。这一方面反映了这 2 种条码是当前的应用热点, 也说明这 2 种条码的特性适合数字水印的嵌入。从水印嵌入方法上看, 主要采用空间域嵌入方法<sup>[5]</sup>, 很少采用变换域嵌入方法<sup>[6]</sup>。这主要是因为二维条码是二值黑白图像, 变换域算法容易造成频域系数溢出, 嵌入水印后的条码图像可能出现可见失真<sup>[7]</sup>。文献[8]提出利用变形技术对条码符号字符的组成单元宽度进行适量变动来实现信息嵌入。文献[9]提出利用条码中每个边界进行信息的隐藏, 这种方法的嵌入量较高, 但是隐藏的信息鲁棒性比较差。文献[10]提出暗隐藏和明隐藏 2 种方法, 利用暗隐藏嵌入信息鲁棒性较好, 但是嵌入的信息较少; 利用明隐藏可以嵌入较多信息, 鲁棒性却较差。文献[11]对隐藏信息进行扩频和映射处理, 根据二维条码自身结构特点, 通过微调条码中的条和空将信息隐藏其中。此方法有所改进, 也有一定新意, 但是水印容量及鲁棒性还是不够理想。其他相关文献虽然嵌入方法和策略上有所不同, 但是总体思路和效果都差不多。

从目前研究情况来看, 基于数字水印的防伪二维条码技术仍很不成熟。现有方法基本都是利用二维条码二值图像有限的空间冗余来嵌入水印。二值图像由于本身特性决定其确实不易使用变换域方法, 而变换域方法一般情况下被认为是比空间域方法具有更好性能的水印嵌入方法。因

此, 是否有变通办法, 使得水印的嵌入得以在变换域进行是一个值得探讨的问题。这正是本文要研究和解决的问题。

## 3 QR 码二值图像灰度化

### 3.1 QR 码二值图像灰度化目的

图像的灰度化处理一般指的是彩色图像灰度化, 至于二值图像灰度化目前还没有找到相关的文献, 这是因为很少有应用需要将二值图像进行灰度化。

QR 二维条码符号为由正方形模块组成的一个正方形阵列, 它由编码区域和包括寻像区域、分隔符、定位图形和矫正图形在内的功能图形组成, 符号四周为空白区。QR 码图像归根结底是一个二值图像。在二值图像中嵌入水印, 不能像灰度图像和彩色图像中那样孤立地考虑一个像素点, 必须考虑该像素邻域情况, 否则会引起视觉异常。另外, 二值图像水印算法水印容量本身就很少, 加上要保证嵌入水印后 QR 码的可识读性, 因此, 水印容量严重受限。

从 QR 码识别算法中可以看出, 一定强度噪声的引入并不会影响 QR 码的识读。因此, 可以先将 QR 码二值图像先转化为灰度图像, 进而在灰度图像的基础上采用变换域的水印嵌入算法, 这样处理的优点是: (1)从原理上看, 灰度图像的水印容量远超过二值图像, 理论上是 8 倍; (2)变换域方法具有更强的鲁棒性。因此, 在确保条码可识读的条件下, 可对 QR 码二值图像先进行灰度化处理, 甚至可适当引入一定的“噪声”。灰度化程度越大(灰度化越明显、噪声越大), 水印容量就会越大, 水印图像的视觉效果也会越好, 但是, 过大的话有可能影响条码的识别。

### 3.2 Rand 灰度化

假设灰度化之前的 QR 码二值图像像素用  $P(x, y)$  (0 或 1)表示, 灰度化后的图像像素用  $P'(x, y)$  (0~255)表示, 设  $T$  表示灰度化的阈值。对于 0, 灰度化为一个不大于  $T$  的正整数; 对于 1, 灰度化为不小于  $255-T$  的正整数。显然,  $T$  越大, 灰度化程度越高, 可以用以下的灰度化模型来描述:

$$P'(x, y) = \begin{cases} rand() \% T & P(x, y) = 0 \\ 255 - rand() \% T & P(x, y) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $rand()$  为正整数随机生成函数。

在上述灰度化模型中,  $T$  的选择极为重要, 这和 QR 码图像的版本号、QR 码图像的模块大小以及纠错等级直接相关。图 1 是 QR 二维条码及其 Rand 灰度化后的效果。



(a)原始二维条码 (b)灰度化 QR 码( $T=10$ ) (c)灰度化 QR 码( $T=30$ )

图 1 Rand 灰度化示意图

### 3.3 背景图灰度化

该方法将 QR 二值图像黑色模块(像素值为 0)投影到灰度背景图中,如图 2 所示。背景图有严格要求:所有像素的灰度值都必须大于一个阈值  $T$ 。理论上,  $128 \leq T \leq 255$ , 阈值  $T$  过小会影响灰度化后的 QR 码的识读; 阈值  $T$  过大, 影响背景图的美观, 且影响后续数字水印嵌入的效果。



(a)原始二维条码 (b)灰度图(云朵) (c)灰度化 QR 码( $T=135$ )

图 2 背景图灰度化示意图

## 4 基于离散小波变换的 QR 码防伪水印方案

### 4.1 总体框架

在上述 QR 码二值图像灰度化的基础上, 结合数字水印技术, 防伪 QR 二维条码方案总体框架设计见图 3、图 4。

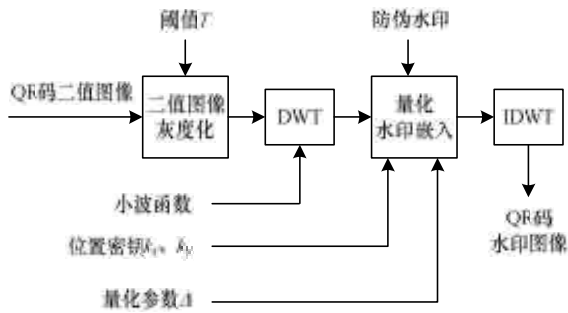


图 3 QR 码图像预处理及小波域防伪水印的嵌入

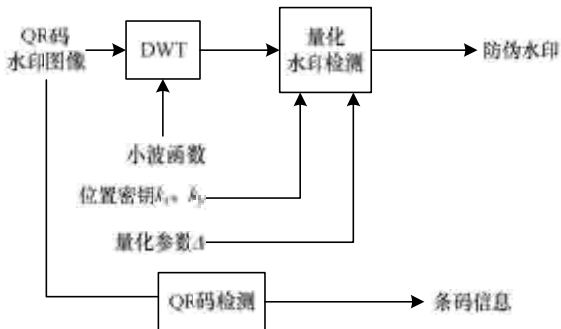


图 4 QR 码识别及水印的检测

在这个总体框架中:(1)QR 二值图像灰度化的目的是在确保条码可识别的情况下防止嵌入水印后的条码图像的失真, 并提高水印容量。(2)水印的嵌入采用 DWT 量化水印嵌入方法, 因此需要设计一个小波域量化函数, 并根据实际应用, 给定量化参数  $\Delta$ 。(3)水印嵌入和检测的位置由二维混沌序列确定, 混沌序列的遍历性和随机性使得水印随机地分散嵌入到条码图像小波域的各个位置, 提高了安全性, 并在一定程度上减小了条码图像的局部失真。因此, 需要设计一对混沌密钥( $k_x, k_y$ ), 以生成二维混沌序列。

### 4.2 水印位置的确定

本文将水印嵌入小波变换域。嵌入的位置由 Logistic 混沌映射<sup>[12]</sup>确定。给定 2 个混沌密钥  $k_x$  和  $k_y$  用来确定水印位置,  $k_x$  确定  $x$  轴的坐标,  $k_y$  确定  $y$  轴的坐标。  $k_x$ 、 $k_y$  都是 Logistic 映射的初始值。

令以  $k_x$  为初始值产生的混沌序列为  $\{k_{xi}\}$ ,  $i=0,1,\dots$ ; 令  $[N_{x1}, N_{x2}]$  为水印区域的水平轴区间, 则由  $k_x$  产生的坐标  $\{x_i\}$ ,  $i=0,1,\dots$  满足:

$$x_i = [N_{x1} + (N_{x2} - N_{x1}) \times k_{xi}], i = 0, 1, \dots \quad (2)$$

其中,  $[ ]$  表示取整操作。

同理, 令以  $k_y$  为初始值产生的混沌序列为  $\{k_{yi}\}$ ,  $i=0,1,\dots$ ; 令  $[N_{y1}, N_{y2}]$  为水印区域的垂直轴区间, 则由  $k_y$  产生的坐标  $\{y_i\}$ ,  $i=0,1,\dots$  满足:

$$y_i = [N_{y1} + (N_{y2} - N_{y1}) \times k_{yi}], i = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

取互不重合的前  $N$  个位置  $(x_i, y_i)$ ,  $i=0,1,\dots,N-1$  为水印位置。

### 4.3 量化函数的设计

定义 称  $Q(f)$  为一个量化函数, 它将小波变换系数  $f$  投影为集合  $\{0,1\}$ 。

$$Q(f) = \begin{cases} 0 & r\Delta \leq f < (r+1)\Delta, r=0, \pm 2, \dots \\ 1 & r\Delta \leq f < (r+1)\Delta, r=\pm 1, \pm 3, \dots \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $\Delta$  为一个正实数, 称之为量化参数, 量化函数将每一个实小波系数被量化为 0、1, 如图 5 所示。

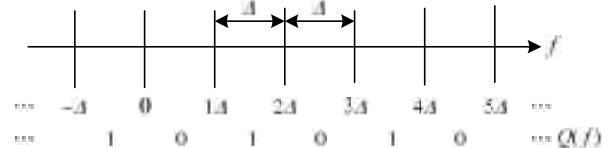


图 5 量化函数

在水印嵌入时, 通过改变嵌入位置所在的小波变换系数  $f$  (幅度不超过  $\Delta$ ), 使得式(4)成立, 这样就完成了水印的嵌入; 而水印提取时只需通过式(4)检测由  $(k_x, k_y)$  确定的水印嵌入位置的小波变换系数。

## 5 实验及结果分析

本文实验用来验证并比较空间域 QR 防伪水印方案、Rand 灰度化后的小波域 QR 防伪水印方案和背景图灰度化后的小波域 QR 防伪水印方案的性能。采用两尺度 9/7 双正交小波变换。为比较方便, 用各方案生成的 QR 二维条码图像, 其条码信息完全相同, 纠错等级是 M(15%)、版本号 2、模块大小为 4; 条码的尺寸为  $132 \times 132$  像素。

对于防伪电子票应用来说, 并不存在水印攻击的问题, 所以防伪水印都能够正确检测出来。对于防伪水印来说, 在确保条码信息(即电子票信息)可识别的条件下, 水印容量

越大, 伪造者越难伪造电子票, 防伪性能也就越好。因此, 决定防伪水印性能的指标是: 对于某一水印嵌入量下的条码的识别率。

表1为空间域QR防伪水印方案的识别率。从中可以看出, 传统的空间域QR防伪水印方案水印容量有限, 当水印嵌入量超过20 Byte时, 识别率急剧下降。灰度化后的空间域算法则大大提高了水印容量, 2种灰度化后的空间域水印方案识别率相差无几。

表1 空间域QR防伪水印方案的识别率 (%)

水印方案	水印嵌入量/Byte				
	5	10	20	30	40
传统空间域水印方案	100	92	82	40	23
Rand 灰度化后的空间域水印方案( $T=20$ )	100	95	85	82	77
背景图灰度化后的空间域水印方案( $T=130$ )	100	94	87	83	76

表2为Rand灰度化后的小波域QR防伪水印方案的识别率。从中可以看出, Rand灰度化后的小波域QR防伪水印方案的水印容量和识别率在灰度化后的空间域水印算法的基础上有进一步提升。灰度阈值 $T$ 对于防伪水印容量具有较大的影响, 一般来说, 阈值越大, 水印容量越大, 防伪性能越好。但是, 如果阈值过大, 本身也会影响QR条码的识读。从实验效果上看, 一般取20 Byte~60 Byte为佳。

表2 Rand灰度化后小波域QR防伪水印方案的识别率 (%)

算法参数	水印嵌入量/Byte				
	20	30	40	50	60
$T=20, \quad =5$	100	97	91	87	80
$T=30, \quad =5$	100	97	95	92	86
$T=40, \quad =5$	100	98	95	93	85
$T=50, \quad =5$	100	97	93	88	83

表3为背景图灰度化后的小波域QR防伪水印方案的识别率。

表3 背景图灰度化后小波域QR防伪水印方案的识别率 (%)

算法参数	水印嵌入量/Byte				
	20	30	40	50	60
$T=130, \quad =5$	100	96	94	93	88
$T=150, \quad =5$	100	98	98	96	93
$T=180, \quad =5$	100	96	93	89	82
$T=240, \quad =5$	100	91	80	45	36

从中可以看出, 背景图灰度化后的小波域QR防伪水

印方案的性能比Rand灰度化后的小波域QR防伪水印方案的性能好些。当背景图阈值 $T=150$ 左右时, 其性能最佳。当背景图阈值 $T$ 过大(如 $T=240$ ), 逼近最大灰度值255时, 其性能会急剧下降。

## 6 结束语

二维条码的防伪问题是影响其推广应用的关键问题, 而数字水印将是解决这一问题的有效工具。由于二维条码本质上是二值图像, 不易实施变换域水印方法, 因此现有方法基本都是利用二维条码二值图像有限的空间冗余来嵌入水印, 识别率低, 水印容量有限。本文基于此提出的2种QR二维条码二值图像灰度化方法及小波域QR防伪水印方案很好地解决了这一问题, 大大提高了QR二维条码的防伪性能。

## 参考文献

- [1] Liu Jen-Chang, Shieh Hsiang-An. Toward a Two-dimensional Barcode with Visual Information Using Perceptual Shaping Watermarking in Mobile Applications[J]. Optical Engineering, 2011, 50(1): 17-20.
- [2] 魏伟光. 二维条码空间域数字水印嵌入方法研究[J]. 北方工业大学学报, 2010, 22(3): 5-9.
- [3] 欧阳麒. 移动二维条码电子票证安全数字水印方案研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [4] 傅明, 何叶, 刘红. 一种基于数字水印的二维条码防伪的方法[J]. 长沙交通学院学报, 2008, 24(2): 86-89.
- [5] 赵季中, 田丽华, 智勇. 基于二维条码的指纹特征信息隐藏方法研究[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(2): 145-148.
- [6] Sun Ming, Si Jibo, Zhang Shuhuai. Research on Embedding and Extracting Methods for Digital Watermarks Applied to QR Code Images[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2007, 50(5): 861-867.
- [7] 李黎, 王瑞玲. 一种适用于QR码的数字水印方法[J]. 杭州电子科技大学学报, 2011, 31(2): 46-49.
- [8] 牛夏牧, 黄文军, 吴迪. 基于二维条码的信息隐藏技术[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43(S2): 21-25.
- [9] 陈峥, 姚宇红, 王晓京. 一种基于二维图形码的数字水印技术[J]. 计算机应用, 2006, 26(8): 1998-2000.
- [10] 赵博, 黄进. 基于PDF417条码的信息隐藏方法[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(19): 4806-4809.
- [11] 晁玉海, 刘连山, 薛立勤, 等. 基于PDF417条码的信息隐藏算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(9): 131-133.
- [12] 凌聪, 孙松庚. 一种混沌扩频码序列设计的准则[J]. 电子科学学刊, 1998, 20(4): 558-561.

编辑 陆燕菲