

# 基于量化调制与像素块添加的二值工程图 抗打印扫描水印算法

彭飞<sup>1</sup>, 颜臻杰<sup>1</sup>, 龙敏<sup>2</sup>

<sup>1</sup>湖南大学信息科学与工程学院 长沙中国 410082

<sup>2</sup>长沙理工大学计算机与通信工程学院 长沙中国 410014

**摘要** 针对已有二值工程图抗打印扫描方法需要图像校正且不可见性较差的不足, 本文提出了一种基于量化调制与像素块添加的二值工程图抗打印扫描水印算法。本方法首先识别出图中线段边缘部分作为水印嵌入区域, 然后将水印序列进行分组, 对每组水印序列根据其组号在水印嵌入区域添加参考点, 再计算出量化区间, 通过在量化区间相应位置添加像素块的方式嵌入水印。水印提取则可通过识别水印点直接进行, 无需对图形进行校正还原。实验结果表明本算法能够抵抗打印扫描以及复印攻击, 且水印容量大, 不可感知性好, 具有较好的应用前景。

**关键词** 二值工程图; 抗打印扫描; 线段识别; 量化调制

中图分类号 TP37 DOI号 10.19363/J.cnki.cn10-1380/tn.2018.11.06

## Print-Scan Resilient Watermarking For Binary Engineering Graphics Based on Quantization Modulation and Pixel Block Addition

PENG Fei<sup>1</sup>, YAN Zhenjie<sup>1</sup>, LONG Min<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Computer Science and Electronic Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

<sup>2</sup> School of Computer and Communication Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410014, China

**Abstract** Aiming at the defects in imperceptibility and requirement of image calibration of the existing print-scan resilient watermarking for binary engineering graphics, a novel scheme based on quantization modulation and pixel block addition is proposed in this paper. The line segment in the image is first identified as the watermark embedding area, and the watermark sequence is divided into groups. Secondly, for every watermark group, a reference pixel point is added to the watermark embedding area, and then the quantization intervals are calculated. Finally, the watermark is embedded by adding pixel blocks at the corresponding position in the quantization intervals. The watermark can be directly extracted by identifying watermark pixels and no image calibration is needed. Experimental results and analysis that it can effectively resist print-scan and photocopy attack, and it has large capacity and good imperceptibility. It has great potential to be applied for security protection of binary engineering graphics.

**Key words** binary engineering graphics; print-scan resilience; line segment identification; quantization modulation

### 1 引言

知识产权作为知识经济的重要组成, 其安全保护极其重要。然而在实际的经济交流活动中, 由于所有权认证困难, 经常导致版权所有者的合法权益得不到有效保障。近年来数字水印作为版权保护的有效手段, 得到广泛研究并取得了一定的成果。目前针

对栅格图像数字水印的研究中, 主要考虑的攻击包括旋转、噪声干扰及裁剪等, 而对抗打印扫描技术的研究相对较少。

在工业生产、建筑设计及施工制造等领域, 工程图纸应用广泛且包含重要的知识产权。而随着打印扫描设备的迅速普及, 对图纸的版权侵犯也经常出现。在打印扫描过程中, 图像经过数/模(D/A)及模/

通讯作者: 彭飞, 博士, 教授, Email: eepengf@gmail.com

本课题得到国家自然科学基金(No.61572182, No.61370225)、湖南省自然科学基金(No.15JJ2007)资助。

收稿日期: 2018-08-11; 修改日期: 2018-09-13; 定稿日期: 2018-09-28

数(A/D)转换,会产生旋转、缩放及形变等诸多方面的失真,因此要求水印算法具有极强的鲁棒性。目前在这方面的研究根据图像类型的不同可分为二值图像抗打印扫描算法<sup>[8-14]</sup>、灰度及彩色图像抗打印扫描算法<sup>[15-18]</sup>。灰度及彩色图像通常有着较为复杂的问题,水印嵌入较为简单。而在实际应用中,工程图一般都是采用二值图像,其灰度值没有中间过渡,在水印嵌入时带来的失真更为明显。因此对二值图像抗打印扫描水印技术的研究需要在不影响视觉效果的前提下,提高水印算法的鲁棒性。

针对纸质工程图的版权保护,本文基于工程图多线段的特点,提出了一种面向二值工程图的抗打印扫描盲水印算法。本方法通过在线段边缘以添加像素块的方式进行水印嵌入,水印提取则可通过识别水印点直接进行,无需对图像进行校正。本方法不仅适用于各种类型的打印扫描设备,而且在一定程度上能够抵抗复印攻击。实验结果表明,与同类文献相比,本算法在水印容量、鲁棒性、及不可见性等方面都有明显的提升。

本文的剩余部分组织如下:第二部分介绍了二值图像抗打印扫描水印等方面已有的研究工作。第三部分详细描述了算法原理。第四部分描绘了水印嵌入及提取流程。第五部分通过实验及分析对算法的有效性进行了验证。第六部分对全文进行了总结并对下一步的工作进行展望。

## 2 相关工作

目前二值图像水印的研究成果主要集中在传统的二值图像水印上,其中包括基于量化步长<sup>[1-2,4]</sup>及基于字符移动<sup>[5-7]</sup>等方法。而针对二值图像抗打印扫描水印的研究则相对较少,按照其水印嵌入方式,可分为基于变换域特征值<sup>[8-9]</sup>、打印扫描加性噪声模型<sup>[10-12]</sup>及其他类型<sup>[13-14]</sup>。

### 2.1 二值图像数字水印算法

二值图像中的像素值只有黑白两种取值,其灰度值没有中间过渡。针对这一特性,Wu等人<sup>[1]</sup>提出了一种基于可翻转系数及量化步长的水印算法。该方法首先提出了可翻转系数的概念,对每个像素点根据其8邻域构造出3×3的窗口,计算翻转前后所属窗口的光滑度与连通性,确定其可翻转系数。然后对图像进行置乱并分块,选取每个块中翻转系数较高的像素点进行翻转,最后通过改变每个分块中黑色像素点的数目到不同的量化区间以嵌入水印。文献[4]则是先对图像进行分块,然后利用密钥选取特定的行和列进行循环移位,然后改变每个分块中黑素像

素点总数的奇偶性进行水印嵌入,该方法中的翻转像素点则通过文献[2]提出的距离倒数矢量衡量方法(DRDM)<sup>[3]</sup>进行选取。上述方法计算简单、水印容量大且不可感知性好,但鲁棒性较差,抵抗打印扫描攻击的能力有限。

### 2.2 二值图像抗打印扫描数字水印算法

针对图纸的安全保护,一些二值图像抗打印扫描算法被先后提出。

#### 1) 基于变换域的抗打印扫描水印算法

基于变换域的方法在传统数字水印中被广泛应用,但在二值图像中,像素点取值范围小,难以通过修改变换域系数嵌入水印。文献[8]提出了一种基于DCT特征值的抗打印扫描算法。该方法首先将图像进行分块,统计出每块中的黑色像素点数目,以其为参数计算出每个分块的特征值,并对特征值进行DCT变换。水印嵌入时则是先修改DCT高频系数,然后根据DCT逆变换得到的值相应的改变每个分块中黑色像素点的数目从而完成水印嵌入。该方法鲁棒性较强,但要求图像中黑色像素点均匀分布。文献[9]针对这一不足,在图像分块之前加入了置乱操作,使得黑色像素点均匀的分布在整幅图像,有效的推广了图像的适用范围。

#### 2) 基于打印扫描模型的抗打印扫描水印算法

通过对打印扫描过程进行实验分析,文献[10]提出了一种打印扫描加性噪声模型,该模型指出打印扫描给图像带来的影响除几何失真之外,主要是边界误差扩散即图像边缘黑色像素点的增加,并且增加的黑色像素会均匀的分布在每个缩略图中。水印嵌入则是通过改变缩略图中黑色像素点数目与平均值的大小关系来进行。文献[12]在[10]的基础上做出了改进,在图像分块前加入了置乱操作,有效提升了水印容量,但上述方法水印提取都依赖于扫描图像的校正还原过程。

#### 3) 基于像素点添加/删除的抗打印扫描水印算法

文献[13]针对英文图像,提出了一种基于像素点添加/删除的抗打印扫描算法。该方法首先识别出字母所包含的矩形区域,然后在其边缘增加(或删除)两个小像素块,通过控制两个像素块之间的距离嵌入水印。该方法鲁棒性强,且能够有效应对打印扫描及复印攻击。

本文结合已有的工作,针对二值工程图纹理简单、多线段的特点,提出了一种基于线段边缘像素点添加的抗打印扫描水印算法。本方法在提取水印时不需对图像进行校正,有效的解决了已有方法不适

用于不同类型打印扫描设备等问题, 而且水印容量大、不可感知性好、鲁棒性强, 并且能够有效的抵抗复印攻击。

### 3 基于量化调制的像素添加

图像在经过打印扫描后, 其大小并不一致, 原始图像边界范围无法确定。本方法主要针对自带边框的二值工程图, 以图像上边框的横向对称轴为  $x$  轴, 以左边框的竖向对称轴为  $y$  轴建立坐标系。在水印嵌入过程中, 若无说明, 所有坐标均指在该坐标系中的坐标。

在水印嵌入时, 首先需要对图像中的线段进行识别, 然后以在线段边缘添加像素块的方式完成水印嵌入。在水印提取时, 主要通过在水印点进行确认, 其中包括将水印点与图像内容进行分离、排除噪声干扰。下面分别介绍线段边缘识别、水印嵌入与水印提取的基本原理。

#### 3.1 线段边缘识别

以在水平线段的边缘添加像素块为例, 对于水平线段边缘部分的识别, 首先需要先设计一个 5 行  $m$  列的结构元素, 其结构元素内容如图 1 所示。其中 0 代表黑色像素, 1 代表白色像素。然后对图像进行击中和击不中变换, 将变换得到的结果作为水印嵌入区域。

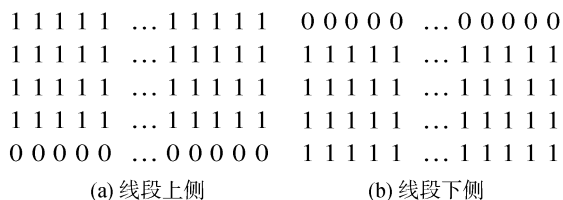


图 1 结构元素用例

Figure 1 Samples of structure elements

图 2(a)、2(b)分别表示自带边框的二值图及图像局部区域, 使用图 1 中的结构元素, 对图像进行击中和击不中变换, 结果如图 2 (c)、2(d)所示。然后对得到的结果以行优先进行遍历, 即可得到水印嵌入区域。

#### 3.2 水印嵌入原理

对于二进制水印序列  $W = \{b_i | 1 \leq i \leq t\}$ , 其中  $b_i \in \{0,1\}$ , 通过在一条线段上侧嵌入水印来阐述其原理。首先定义  $Q$  为量化单元, 每两个量化单元组成一个量化区间  $QI$ 。然后在水印嵌入区域选择一个坐标  $(x_0, y_0)$ , 以其作为参考点, 再根据式 (1) 计算出

所有水印点的位置, 最后通过这些位置上添加一定大小的黑色像素块完成水印嵌入。

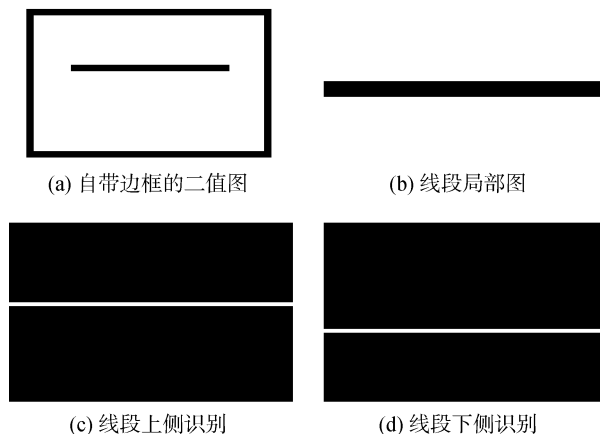


图 2 线段边缘识别图

Figure 2 Detection of the edge of the line segment

$$\begin{cases} x_j = x_0 + S + (j - 1) \times QI + (b_j + 1/2) \times Q \\ y_j = y_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中  $1 \leq j \leq t$ ,  $S$  代表安全距离, 它用以避免每组第一个水印点与参考点距离太近而影响到水印提取。当  $t$  取 3 时, 假设嵌入的水印序列为“001”, 嵌入效果如图 3 所示。

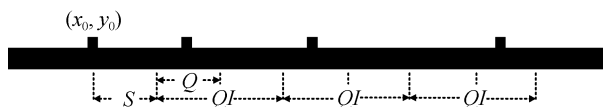


图 3 嵌入效果图

Figure 3 Example of watermark embedding

#### 3.3 水印点分离

水印嵌入时选择的是长度大于  $m$  的线段, 而打印扫描会给图像带来缩放失真, 线段的长度会发生变化。因此, 在将添加的水印点与原图分离之前, 需要先通过边框信息, 计算出图像的放大倍数, 确定线段在扫描图像中的最短长度。已知原始图像水平边框长度、垂直边框长度分别为  $W_L$ 、 $H_L$ , 边框厚度为  $th$  (默认为奇数)。以分离水平线段上侧的水印点为例, 具体步骤如下:

step 1. 采用最小二乘法, 用直线分别拟合出上、下、左、右四个边框方程, 得到直线方程  $f_u$ 、 $f_d$ 、 $f_l$ 、 $f_r$ 。对得到的四个方程两两联立求解, 分别求得图像左上、右上、左下、右下四个端点坐标  $p_{lu}(x_{lu}, y_{lu})$ 、 $p_{ru}(x_{ru}, y_{ru})$ 、 $p_{ld}(x_{ld}, y_{ld})$ 、 $p_{rd}(x_{rd}, y_{rd})$ 。

step 2. 构造一个 1 行  $k$  列的结构元素对图像进

行闭操作处理, 识别出图像中水平方向上的线段。对得到的结果, 只保留长度不小于  $m \times d_w$  的线段, 其中  $d_w$  代表图像在水平方向上的放大倍数, 其计算如式(2)所示。

$$d_w = (\|p_{lu} p_{ru}\| + \|p_{ld} p_{rd}\|) / (2 \times (W_L - th)) \quad (2)$$

step 3. 将步骤2中得到的线段, 以其上侧  $r$  个像



图4 水印点分离效果图

Figure 4 Example of the separation of watermark pixels

### 3.4 水印点识别

在分离水印点得到的坐标点集中, 可能会包含一些噪声点, 因此在水印提取前需要对水印点与噪声点进行区分。以水平线段上侧水印点的分离为例, 对于集合  $V$  中的任意一个坐标点  $(x', y')$ , 以其作为参考点, 可通过式(3)计算得到  $t$  个量化区间起始及终止点的  $x$  坐标。

$$\begin{cases} x_j^{start} = x'_i + (S + (j-1) \times QI) \times d_w \\ x_j^{end} = x'_i + (S + j \times QI) \times d_w \end{cases} \quad (3)$$

其中  $1 \leq j \leq t$ , 若在集合  $V$  存在至少  $t$  个坐标点分布在  $t$  个不同的量化区间中, 则以  $(x', y')$  作为参考点进行水印提取, 具体步骤如下:

step 1. 将  $V$  中  $x$  坐标处于  $x_1^{start}$  与  $x_t^{end}$  之间的坐标点置于集合  $V^w = \{(x_j^w, y_j^w) | 1 \leq j \leq T\}$ , 其中  $T \geq t$ 。

step 2. 对集合  $V^w$  中的每个坐标点, 通过式(4)计算其所在的量化区间, 通过式(5)进行水印提取得到可能包含噪声的二进制序列  $B = \{b'_1, b'_2, \dots, b'_T\}$ 。

$$q_j = \text{floor} \left( \frac{x_j^w - x' - d_w \times S}{QI \times d_w} \right) + 1 \quad (4)$$

$$b'_j = \text{floor} \left( \frac{x_j^w - x' - ((q_j - 1) \times QI + S) \times d_w}{Q \times d_w} \right) \quad (5)$$

其中  $\text{floor}()$  代表向下取整函数。

step 3. 对  $V^w$  中每个坐标点计算其距离误差, 如式(6)。若存在两个及以上的坐标点分布在同一量化区间, 则只保留距离误差值最小的水印点。

$$e_j = \left\| x_j^w - x' - ((q_j - 1) \times QI + b'_j \times Q + \frac{Q}{2} + S) \times d_w \right\| \quad (6)$$

素点以内作为水印提取区域, 对扫描得到的图像只保留水印提取区域中的内容, 其中  $r$  的取值根据添加像素的大小及图像的放大倍数确定。

step 4. 对分离出来的小像素块求其重心坐标, 并保存在集合  $V$  中。

水印点分离效果图如图4所示。

step 4. 对于二进制序列  $B$ , 排除其中的噪声点, 得到水印信息  $W' = \{b'_1, b'_2, \dots, b'_i\}$  及对应的距离误差集  $E' = \{e'_1, e'_2, \dots, e'_i\}$ 。

以下将对水印提取进行举例说明, 在水印嵌入时, 设置  $S=12$ ,  $QI=24$ ,  $t=3$ , 在将图像进行打印扫描之后, 计算得到  $d_w=1.92$ ,  $V=\{v_0(2454, 1471), v_1(2488, 1472), v_2(2534, 1472), v_3(2553, 1472), v_4(2602, 1472)\}$ 。

当且仅当  $v_0$  作为参考点时, 3 个区间均分布有坐标点, 满足水印提取条件:

$$x_1^{start} = 2454 + (12 + 24 \times 0) \times 1.92 = 2477.04$$

$$x_1^{end} = x_2^{start} = 2454 + (12 + 24 \times 1) \times 1.92 = 2523.12$$

$$x_2^{end} = x_3^{start} = 2454 + (12 + 24 \times 2) \times 1.92 = 2569.20$$

$$x_3^{end} = 2454 + (12 + 24 \times 3) \times 1.92 = 2615.28$$

提取得到二进制序列  $B=\{0, 0, 1, 1\}$  及距离误差及  $E=\{0.56, 0.64, 4.68, 1.76\}$ 。

其中  $v_2, v_3$  同时分布在第二个区间, 并且  $e_2 < e_3$ 。

因此排除  $v_3$  干扰, 得到  $W'=\{0, 0, 1\}$  以及  $E'=\{0.56, 0.64, 1.76\}$ 。

## 4 算法描述

在水印序列较长时, 很难通过一条线段完成全部水印嵌入, 因此本方法采取对水印序列进行分组, 以每组独立的方式进行水印嵌入。对每组水印序列, 首先计算出参考点的坐标, 利用其位置信息标识相应的组号, 并且以其作为参考点用于计算所添加水印点的坐标, 最后以添加像素块的方式完成水嵌入。图5表示本文算法的嵌入流程。

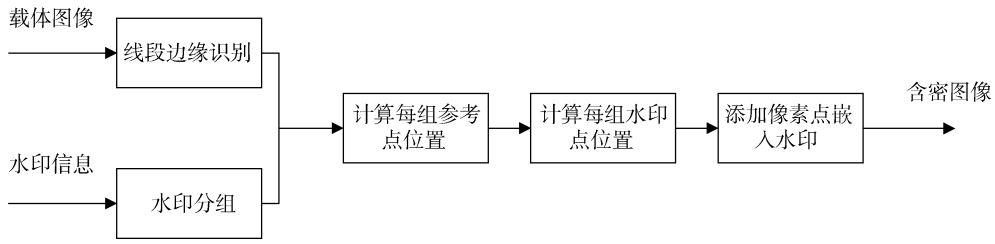


图 5 水印嵌入流程

Figure 5 Flowchart of watermark embedding

在水印提取时, 需要先将水印点进行分离与确认, 然后分别对每组水印点进行信息提取, 并且通过参考

点的坐标计算其对应的组号, 最后根据组号将水印组合完成水印提取。水印提取流程如图 6 所示。

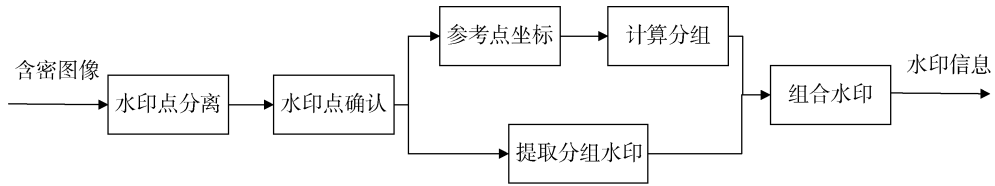


图 6 水印提取流程

Figure 6 Flowchart of watermark extraction

#### 4.1 水印分组及参考点设置

本方法首先将水印信息分为  $n$  组, 每组  $t$  比特, 即  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ,  $w_i = \{b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{it}\}$ 。对于每组水印, 需要计算得到一个参考点, 利用参考点的坐标信息标识该组水印对应的组号。在水印嵌入时, 若在水平(竖直)线段边缘添加像素块, 选择参考点的  $y(x)$  坐标不发生改变, 算法以参考点的  $x$  与  $y$  坐标之和  $sum$  作为分组的标识信息。

打印扫描会给图像带来诸多失真, 无法通过参考点在扫描图像中的位置精确还原其原始坐标。因此, 定义量化步长  $L$ , 设置参考点的  $x$  与  $y$  坐标之和到相应的区间。对于第  $g$  组的参考点坐标  $(x_{g0}, y_{g0})$ , 使得其坐标之和需满足式(7)。

$$sum_{g0} = (g - 1/2 + k \times n) \times L \quad (7)$$

其中  $k$  为非负整数, 在水印嵌入区域, 每个参考点存在多个位置满足条件, 具体的选择过程将在水印嵌入流程中描述。

#### 4.2 分组计算

图像在经过打印扫描后, 不仅会出现缩放, 还会带来旋转及形变等失真, 因而参考点在原始图像与扫描图像中的位置信息没有直接的对应关系。对于打印扫描图像中识别得到的参考点, 根据其坐标  $(x', y')$ , 本文采用拟合出边框方程、构造等分线的方式求得其原始坐标及对应组号。具体的计算过程如下:

step 1. 用直线拟合出上、下、左、右四个边框方程  $f_u$ 、 $f_d$ 、 $f_l$ 、 $f_r$ , 并求得图像左上、右上、左下、右下四个端点坐标  $p_{lu}(x_{lu}, y_{lu})$ 、 $p_{ru}(x_{ru}, y_{ru})$ 、 $p_{ld}(x_{ld}, y_{ld})$ 、 $p_{rd}(x_{rd}, y_{rd})$ 。

step 2. 分别将线段  $p_{lu}p_{ru}$ 、 $p_{ld}p_{rd}$  等分成  $W_L - th$  段, 得到  $W_L - th + 1$  组等分点对。每组等分点对可确定一条直线, 得到直线集  $Line_v = \{l_{v,j} | j = 0, 1, \dots, W_L - th\}$ , 其中  $l_{v,0}$ 、 $l_{v,W_L - th}$  分别指左右边框方程  $f_l$ 、 $f_r$ 。

step 3. 计算得到直线集  $line_v$  中与  $(x', y')$  距离最近的直线  $l_{v,i}$ , 其中直线  $l_{v,i}$  在直线集中的相对位置  $i$  即为参考点在原始图像中的  $x$  坐标。同理可得  $y$  坐标。

step 4. 通过式(8)计算得该组水印点所对应的组号。

$$g' = floor\left(\frac{(x + y) \bmod (n \times L)}{L}\right) + 1 \quad (8)$$

#### 4.3 水印嵌入流程

水印嵌入以在水平线段的上侧添加像素块为例, 同理可在水平线段下侧及竖直线段左、右侧进行水印嵌入。设待嵌入的水印信息为  $N$  位二进制组成的序列  $W$ , 水印嵌入的具体步骤如下。

step 1. 将水印序列  $W$  分为  $n$  组, 每组  $t$  比特, 得

到  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ,  $n = N/t$ , 其中  $w_i = \{b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ij}, \dots, b_{it}\}$ ,  $b_{ij} \in \{0, 1\}$ 。

step 2. 通过形态学击中中和击不中变换识别出图中线段边缘部分并将其作为水印嵌入区域。然后对水印嵌入区域按照长度, 由小到大进行排序。

step 3. 对水印嵌入区域进行遍历, 找到距离起始位置最近的参考点, 并在之后保留足够的长度用于添加水印点。

step 4. 继续对水印嵌入区域进行遍历, 重复步骤 3, 依次为所有的水印组计算出其对应的参考点坐标, 每组水印的嵌入区域不能重叠。

step 5. 根据 3.2 中的描述, 计算出每一组水印点的位置, 然后以添加像素块的方式完成水印嵌入。

#### 4.4 水印提取流程

水印提取的具体步骤如下。

step 1. 利用形态学闭操作, 识别出图中水平方向的线段, 并将其上侧作为水印提取区域, 将水印像素块与原始图像内容进行分离。

step 2. 对每个水印像素块求其重心, 并根据像素块所依附的线段, 将重心坐标保存线段所对应的集合  $V_i$  中。

step 3. 按照 3.4 中的描述, 对于集合  $V_i$ , 依次以其中的每个坐标点作为参考点, 计算出相应的  $t$  个起始及终止位置, 若在  $V_i$  中每个区间均分布有坐标点, 则进行水印提取, 得到  $W' = \{b'_1, b'_2, \dots, b'_t\}$  及  $E' = \{e'_1, e'_2, \dots, e'_t\}$ 。

step 4. 根据每组参考点的坐标计算出其对应的组号, 若存在多组水印对应同一分组, 则保留  $\sum_{i=1}^t e'_i$  较小的水印组。

step 5. 根据每组水印对应的组号, 将水印进行组合得到完整的水印序列。

## 5 实验结果及对比分析

本文选取三幅二值工程图作为水印嵌入的载体图像, 对本方法的有效性进行验证。实验图像如图 7 所示, 图像宽度及高度分别为 2275、3300 像素, 水平方向及竖直方向边框分别为 2252、3186 像素, 边框厚度为 3 像素。为验证本方法的通用性, 分别选择 HP LaserJet Pro M202 PCL 激光打印机及 Canon PIXMA iX6580 喷墨打印机进行实验, 扫描仪则采用 Canon PIXMA MP259 与 Epson V370。

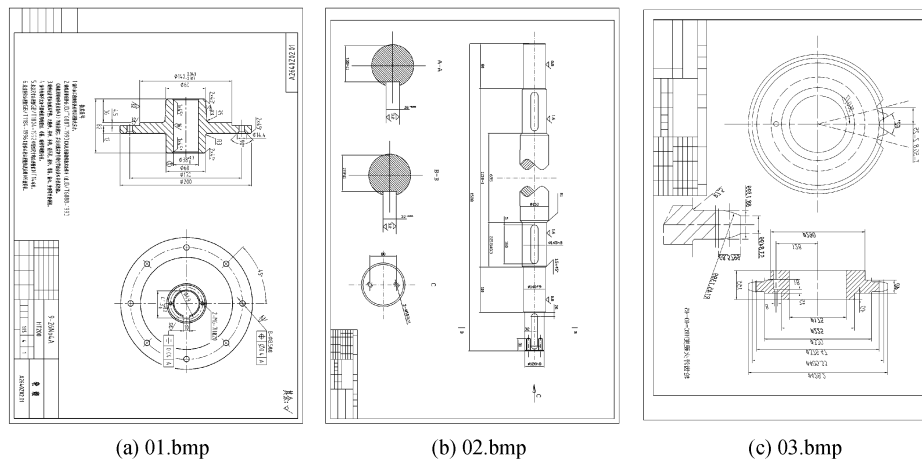


图 7 原始实验图例

Figure 7 Samples of binary graphics for experiments

### 5.1 实验结果

本文算法不可感知性的衡量是通过文献[15]提出的客观衡量二值图像失真方法 DRDM, 该方法以距离倒数失真值 (Distance-Reciprocal Distortion, DRD) 对图像失真进行衡量, DRD 的取值越大, 不可感知性越差。

本文对图 1 中的三幅图像, 分别选择不同的水

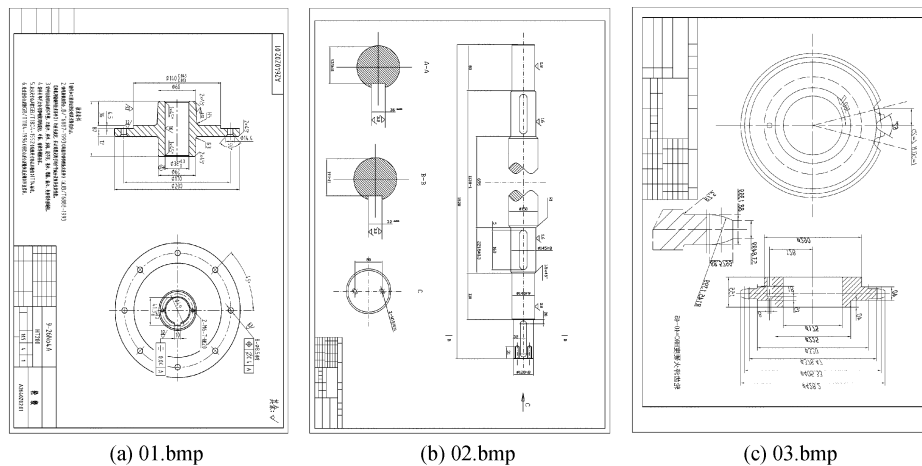
印长度进行实验。在实验中, 每组水印长度  $t$  为 5, 量化单元  $Q$ 、安全距离  $S$  及量化步长  $L$  分别取 12、12、20 像素。当添加黑色像素块的大小分别为  $2 \times 2$ 、 $2 \times 1$  (row $\times$ col) 时, 水印提取成功率、不可感知性实验结果如表 1 所示。

当添加的像素块大小为  $2 \times 2$ , 水印长度为 200 时, 嵌入后的三幅图像如图 8 所示。

表 1 打印扫描实验结果

Table 1 Experimental results of print-scan resilience

测试图	长度	Canon Scanner				Epson Scanner				DRD( $10^{-3}$ )	
		HP printer		Canon printer		HP printer		Cannon printer		2×2	2×1
		2×2	2×1	2×2	2×1	2×2	2×1	2×2	2×1		
01.bmp	120	100%	87.5%	100%	95.83%	100%	91.67%	100%	87.5%	13.90	6.95
	140	100%	96.43%	100%	92.86%	100%	92.86%	100%	96.43%	16.22	8.11
	160	100%	84.38%	100%	90.63%	100%	96.88%	100%	96.88%	18.53	9.27
	180	100%	86.11%	100%	94.44%	100%	97.22%	100%	100%	20.85	10.42
	200	100%	90%	100%	95%	100%	95%	100%	95%	23.17	11.58
02.bmp	120	100%	95.83%	100%	100%	100%	95.83%	100%	100%	17.85	8.92
	140	100%	92.86%	100%	96.43%	100%	96.43%	100%	100%	20.82	10.41
	160	100%	90.63%	100%	93.75%	100%	100%	100%	87.5%	23.80	11.90
	180	100%	97.22%	100%	86.11%	100%	97.22%	100%	88.89%	26.77	13.39
	200	100%	90%	100%	90%	100%	97.5%	100%	92%	29.75	14.87
03.bmp	120	100%	100%	100%	87.5%	100%	100%	100%	91.67%	16.05	8.03
	140	100%	92.86%	100%	92.86%	100%	96.43%	100%	92.86%	18.73	9.37
	160	100%	90.63%	100%	96.88%	100%	93.75%	100%	96.88%	21.41	10.70
	180	100%	94.44%	100%	88.89%	100%	97.22%	100%	97.22%	24.08	12.04
	200	100%	95%	100%	87.5%	100%	97.5%	100%	92.5%	26.76	13.38

图 8  $N=200$  时, 水印嵌入后的图像Figure 8 The watermarked binary graphics when  $N=200$ 

由于本算法以在线段边缘添加像素块的方式嵌入水印, 因此只要扫描得到的图像中线段边缘的水印点能够正确识别, 水印即可提取成功。由实验结果可知, 当添加像素块的大小为  $2 \times 2$  时, 分别使用两种不同的打印机对图纸进行打印, 水印均能 100% 提取成功。而像素块大小为  $2 \times 1$  时, 水印点的分离与识别效果不甚理想, 水印提取成功率维持在  $80\% \sim 100\%$  之间。在不感知性衡量上, 当嵌入信息越多时, 需要添加的像素点数目也就越多, 不可感知性随之越差。此外, 当添加  $2 \times 2$  的像素块时, 相对于添加  $2 \times 1$  的像素块其所需要改变的像素点较多, 不可感知性也相对较差, 但基本维持在同一水平。综合考虑像素块的大小对鲁棒性及不可感知性的影响, 选择  $2 \times 2$  大小

的像素块能够取得更好的效果。因此, 在后续的对比实验中, 均选择  $2 \times 2$  作为添加像素块的大小。

## 5.2 实验分析

本节对比文献[9,12], 从鲁棒性以及不可感知性两方面对算法进行分析。本文以添加像素块的方式嵌入水印, 而文献[9,12]则都是以置乱后每个分块中黑色像素点数目作为经打印扫描不变特征, 通过改变每个分块中黑色像素点数目进行水印嵌入。对比文献的阈值与本文参数不具有对应性, 因此在实验中将阈值一律设置成 100。

### 5.2.1 鲁棒性分析

#### (1) 抗打印扫描鲁棒性

为验证算法在鲁棒性上的表现, 本文对上述

三幅图像进行实验。图 9、图 10、图 11、图 12 分别表示选择不同打印扫描设备时, 在不同水印容量的情况下, 本算法与[9,12]在鲁棒性上的不同表现。

由上述实验结果可知, 使用不同打印扫描设备进行实验, 本文算法均对比文献水印提取成功率更高, 鲁棒性更强。文献[9,12]以图像置乱后每个分块中黑色像素点的数目作为抗打印扫描不变特征,

因而其水印提取依赖于图像在打印扫描之后的校正还原过程。当使用 Canon PIXMA iX6580 打印机打印图纸时时, 扫描得到的图像失真具有一定的规律性, 校正还原效果理想, 水印提取成功率高。但当使用 HP LaserJet Pro M202 PCL 打印机时, 图像失真问题难以解决, 导致水印提取效果不理想。而本文算法通过在线段边缘添加像素块的方式嵌入水印, 可适用于不同类型的打印扫描设备。

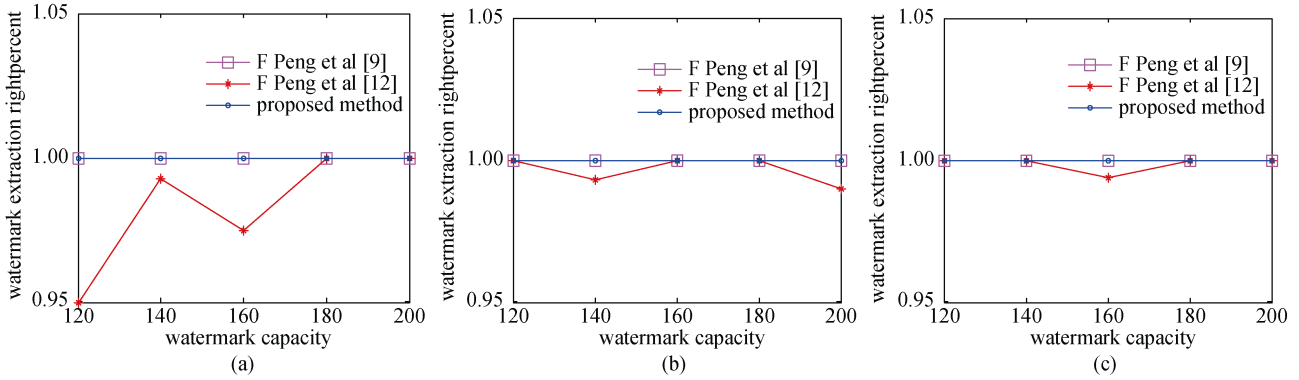


图 9 鲁棒性对比图(Canon printer/Canon Scanner)

Figure 9 Comparison of robustness (Canon printer/Canon Scanner)

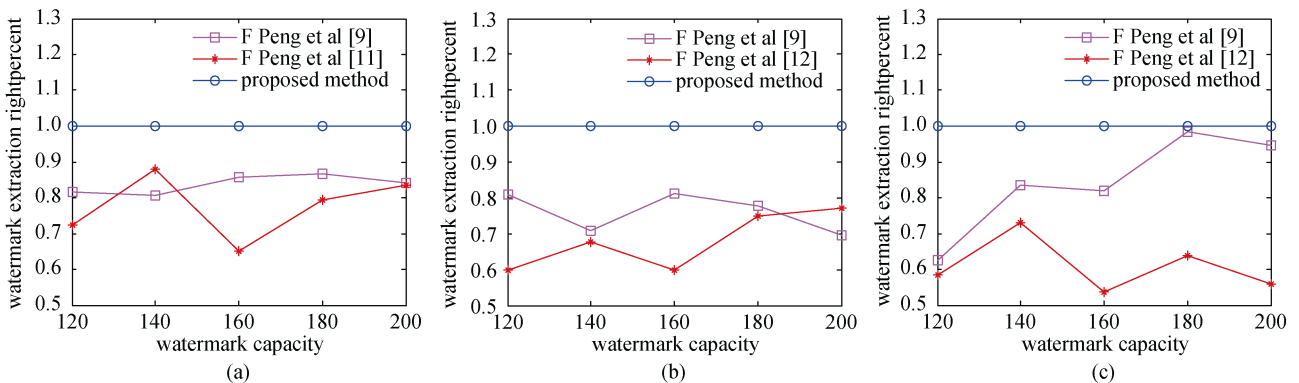


图 10 鲁棒性对比图(HP printer/Canon Scanner)

Figure 10 Comparison of robustness (HP printer/Canon Scanner)

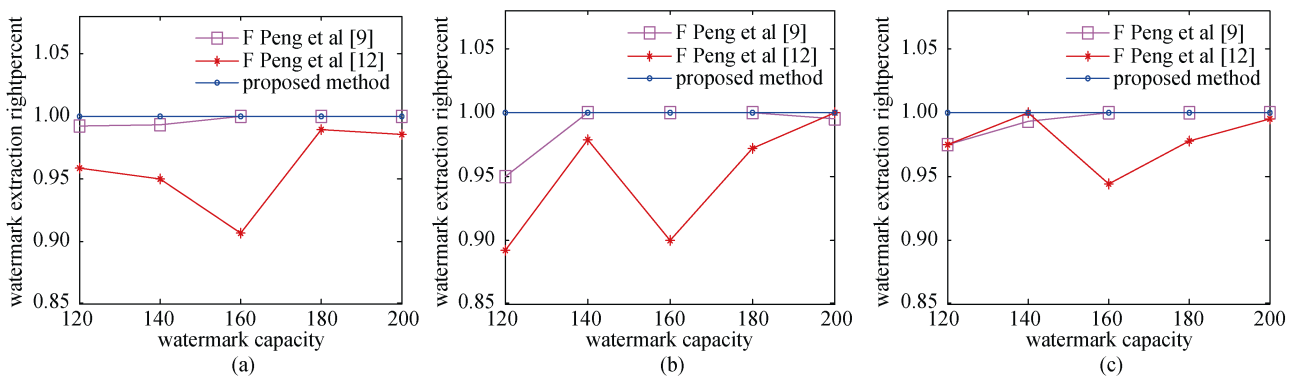


图 11 鲁棒性对比图(Canon printer/Epson Scanner)

Figure 11 Comparison of robustness (Canon printer/Epson Scanner)



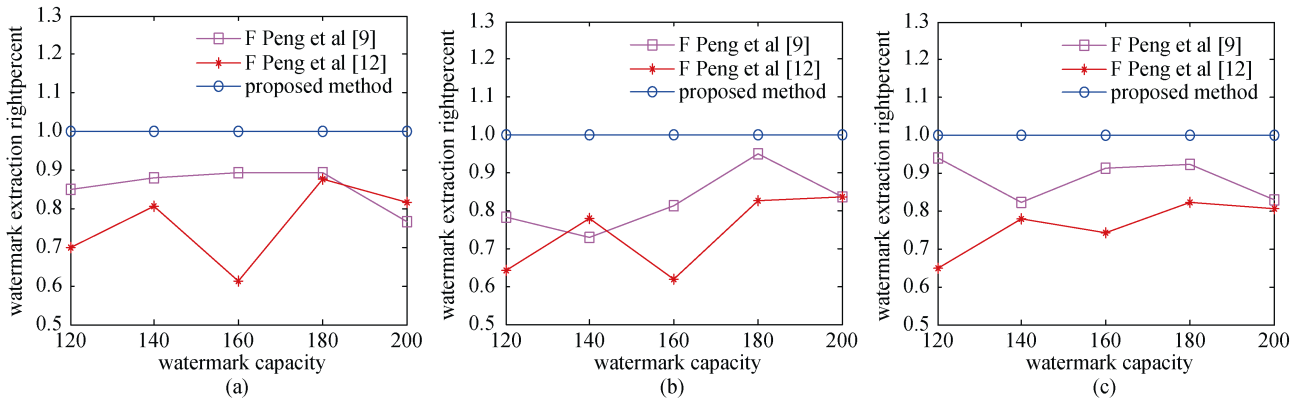


图 12 鲁棒性对比图(HP printer/Epson Scanner)

Figure 12 Comparison of robustness (HP printer/Epson Scanner)

(2) 抗复印攻击鲁棒性

本文算法不仅能够抵御打印扫描攻击, 还对复印攻击存在较强的鲁棒性, 其中复印设备使用的是 Aficio MP 6001, 实验结果如表 2 所示。

表 2 复印攻击实验结果

Table 2 Experimental results of photocopy attack

测试图	容量	Canon Scanner		Epson Scanner	
		HP printer	Canon printer	HP printer	Canon printer
01.bmp	120	100%	87.5%	100%	95.83%
	140	100%	92.857%	100%	100%
	160	100%	96.875%	100%	90.63%
	180	96.67%	91.67%	100%	97.22%
	200	100%	97.5%	100%	92.5%
02.bmp	120	100%	100%	100%	100%
	140	96.43%	100%	100%	100%
	160	100%	96.875%	100%	96.88%
	180	100%	100%	100%	97.22%
	200	100%	100%	100%	97.5%
03.bmp	120	100%	83.33%	100%	91.67%
	140	96.43%	85.71%	100%	92.86%
	160	100%	93.75%	100%	90.63%
	180	100%	91.67%	99.44%	97.22%
	200	100%	87.5%	99.5%	95%

由上述结果可知, 当使用 HP 激光打印机打印的图纸, 经一次复印攻击, 水印提取成功率维持在 95% 以上。而使用 Canon 喷墨打印机打印的图纸时, 墨迹在一定程度上存在外溢, 使得水印点难以识别, 因此再经复印攻击其实验效果不如 HP 激光打印机。此外, 本算法对复印攻击的鲁棒性在一定程度上依赖于水印点的大小, 水印点越大, 鲁棒性越强, 但也会导致较差的不可感知性。

5.2.2 不可感知性分析

在嵌入容量不同时, 同样将本算法与文献[9,12]在不可感知性上进行对比分析。图 13 表示本算法与[9,12]在不可感知性上的不同表现。

由上述实验结果可知, 水印嵌入容量越大时, 所需改变的像素点越多, DRD 值随之上升, 即不可感知性逐渐变差。对于文献[9,12], 每嵌入 1 比特信息, 都需要将置乱后分块中的多个像素点进行修改, 相对于本算法, 其修改的像素点相对较多, 因此本方法在不可感知性上表现更为优越。

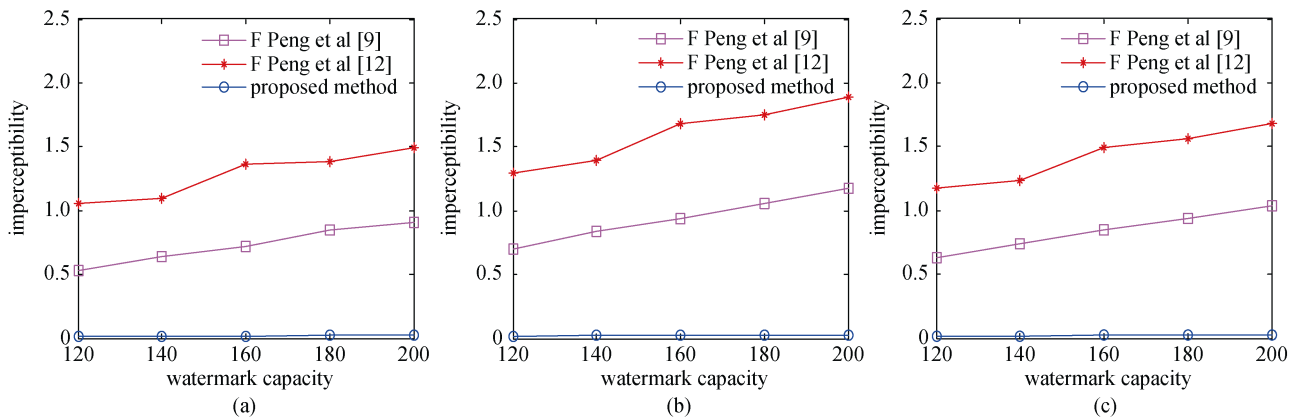


图 13 不可感知性对比图

Figure 13 Comparison of imperceptibility

## 6 结论

本文针对二值工程图多线段的特点, 提出了一种基于量化调制的抗打印扫描水印算法。本方法以添加像素块的方式嵌入水印, 而在水印提取时只需对水印点进行识别, 不需要经过校正还原过程, 因此本方法能够普遍适用于各种打印扫描设备。实验结果及分析表明, 本方法不仅能抵抗打印扫描及复印攻击, 而且其不可感知性好。然而本方法的不足之处在于, 目前只能在水平及竖直方向上的线段边缘添加像素块以嵌入水印, 其适用范围存在一定的局限性。因此, 未来的工作将针对不同结构元素的特性, 进一步拓广算法对不同类型图像的适用范围。

## 参考文献

- [1] M. Wu, E. Tang, and B. Lin, "Data hiding in digital binary image," in *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME'00)*, pp. 393-396, 2000.
- [2] M. Wu and B. Lin, "Data Hiding in Binary Image for Authentication and Annotation," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 6, no. 4, pp. 528-538, Aug. 2004.
- [3] H. Lu, J. Wang, A. C. Kot, and Y. Q. Shi, "An Objective Distortion Measure for Binary Document Images Based on Human Visual Perception," in *Proc. IEEE International Conference on Pattern Recognition (ICPR'02)*, pp. 239-242, 2002.
- [4] H. Lu, A. C. Kot, and J. Cheng, "Secure data hiding in binary document images for authentication," in *Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'03)*, pp. 806-809, 2003.
- [5] S. H. Low, N. F. Maxemchuk, and A. M. Lapone, "Document identification for copyright protection using centroid detection," *IEEE Trans. Communications*, vol. 46, no. 3, pp. 372-383, Mar. 1998.
- [6] S. H. Low, N. F. Maxemchuk, J. T. Brassil, and L. O'Gorman, "Document marking and identification using both line and word shifting," in *Proc. IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM'95)*, pp. 853-860, 1995.
- [7] J. Yang and M. R. Zhang, "Document marking technique based on both line and word shifting," *Journal of Xi'an University of Post and Telecommunications*, vol. 11, no. 3, pp. 101-105 (in Chinese), 2006.  
(杨洁, 张敏瑞, "基于行移和字移编码的二值文本数字水印技术", 西安邮电学院学报, 2006, 11(3): 101-105。)
- [8] B. He, Y. Wu, K. Kang, and W. Guo, "A Robust Binary Text Digital Watermarking Algorithm for Print-Scan Process," in *Proc. IEEE WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering (CSIE'09)*, pp. 290-294, 2009.
- [9] F. Peng, S. Wang, and M. Long, "Print-Scan Resilient Binary Map Watermarking Based on DCT and Scrambling," *International Journal of Digital Crime and Forensics*, vol. 10, no. 4, pp. 80-89, 2018.
- [10] Q. Hou, D. Junping, L. Li, J. Lu, and C. C. Chang, "Scanned binary image watermarking based on additive model and sampling," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 74, no. 54, pp. 9407-9426, Nov. 2015.
- [11] P. Wang, X. Luo, C. Yang, and F. Liu, "Improving Scanned Binary Image Watermarking Based On Additive Model and Sampling," *International Journal of Digital Crime and Forensics*, vol. 8, no. 2, pp. 36-47, 2016.
- [12] F. Peng, S. Wang, G. Luo, and M. Long, "Print-Scan Resilient Binary Map Watermarking Based on Extended Additive Noise Model and Scrambling," in *Proc. International Conference on Cloud Computing and Security (ICCCS'17)*, pp. 3-15, 2017.
- [13] A. L. Varna, S. Rane, and A. Vetro, "Data hiding in hard-copy text documents robust to print, scan and photocopy operations," in *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'09)*, pp. 1397-1400, 2009.
- [14] H. Y. Kim and J. Mayer, "Data hiding for binary documents robust to print-scan, photocopy and geometric distortions," in *Proc. IEEE XX Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing (SIBGRAP'07)*, pp. 1530-1834, 2007.
- [15] R. Riad, H. Douzi, M. E. I. Hajji, R. Harba, and F. Ros, "A Print-Scan Resilient Watermarking based on Fourier Transform and Image Restoration," *International Journal of Computer Applications*, vol. 128, no. 15, pp. 13-17, Oct. 2015.
- [16] Z. Xiao, Y. Zhang, C. Feng, Y. Li, and R. Zhang, "A robust and encrypted digital image watermarking method against print-scan," in *Proc. Chinese Automation Congress (CAC'15)*, pp. 696-700, 2015.
- [17] C. Guo, G. Xu, X. Niu, Y. Yang, and Y. Li, "A color image watermarking algorithm resistant to print-scan," in *Proc. IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Information Security (WCINS'10)*, pp. 518-521, 2010.
- [18] A. Keskinarkaus, A. Pramila, T. Seppänen, "Image watermarking with a directed periodic pattern to embed multibit messages resilient to print-scan and compound attacks," *Journal of Systems and Software*, vol. 83, no. 10, pp. 1715-1725, Oct. 2010.



**彭飞** 于2006年在华南理工大学电路与系统专业获得工学博士学位。现在湖南大学信息科学与工程学院担任网络空间安全系主任、教授、博士生导师。研究领域为多媒体安全、制造数据安全。研究兴趣包括: 信息隐藏与数字水印、数字图像取证、生物特征隐私保护。Email: eepengf@gmail.com



**颜臻杰** 于2015年在湖南科技大学计算机科学与技术专业获得工学学士学位。现在湖南大学学校计算机科学与技术专业攻读硕士学位。研究领域为制造数据安全。研究兴趣包括: 数字水印与信息隐藏、图纸内容安全。Email: 605706659@qq.com



**龙敏** 于2006年在华南理工大学电路与系统专业获得工学博士学位。现在长沙理工大学计算机与通信工程学院担任教授。研究领域为多媒体安全、混沌保密通信。研究兴趣包括: 混沌保密通信、数字图像取证。Email: caslongm@aliyun.com