

# 基于最佳判决门限的水印信息提取算法研究

李沐明<sup>1</sup> 曹鹏<sup>2</sup>

(1.国家开放大学信息化部 北京 100039; 2.北京印刷学院信息与工程学院 北京 102600)

摘要：传统的数字半色调技术主要应用在电子图像上，对于印刷图像研究较少，本文将数字半色调技术应用于水印嵌入，根据伪随机半色调加网方法将水印信息进行嵌入，然后打印输出。在对拍摄图像中的水印信息进行提取时，本文借鉴了通信中二进制双极性基带系统的最佳门限电平的求解方式，提出了一种最佳判决门限的计算算法以获取水印信息提取的最佳判决门限，从而采用该门限提取图像中的水印信息。实验结果表明，该算法有较强的鲁棒性，能够有效地提取嵌入的水印信息。

关键词：数字半色调；二进制双极性基带系统；最佳判决门限；水印提取

## 0 引言

数字半色调技术是通过控制网点的形态特征来表现原连续调图像。半色调加网方法不同于一般的防伪方法，由于其不需要使用特殊油墨、特殊图像处理工具等，并且在加网过程中通过对网点的调制使其携带加密信息，因此利用该网点特性就可通过某种算法将半色调加网技术应用到信息隐藏及防伪中<sup>[1]</sup>。在数字半色调方面，国内外的研究在持续进行并且取得了一定的成果，Xiaotian Wu 等提出在网点扩散图像中进行数据隐藏<sup>[2]</sup>；Panagiotis Takis Metaxas 基于误差抖动提出了并行数字半色调技术<sup>[3]</sup>；Jia-Hong Lee 等基于半色调图像利用可逆信息隐藏实现了一种新的可逆半色调加网技术<sup>[4]</sup>。这些理论方法的提出实现了基于半色调加网的信息隐藏和信息提取。然而，目前利用半色调加网实现信息隐藏的对象主要是针对电子图像，对于印刷后的加网图像存在一定的缺陷，因为打印之后图像中的水印信息和图像载体信息存在一定的损失，直接影响了图像中水印信息的有效提取。因此，对于这种包含水印信息（噪点信息）的印刷图像，本文参考了通信中二进制双极性基带系统的最佳门限电平的求解方式，提出了一种最佳噪声判决门限的计算算法，通过这种算法得到噪点提取的最佳门限，从而更加有效地恢复图像中的水印信息。

## 1 数字水印图像生成

数字水印属于信息隐藏技术的一个分支，数字水印系统包含嵌入系统和检测系统两大组成部分。嵌入系统完成水印的生成和嵌入功能，一般具有两个基本输入：原始载体和水印信号，水印的生成是原始信息到水印信号的过程，一般需要考虑水印的鲁棒性、安全性和隐秘性等因素。目前的水印生成算法有很多，如伪随机、扩频、相位调制等等。水印的嵌入是将水印信息隐藏在载体的空域或频域的过程。原始载体是水印信息的宿主，通常是图像、音频和视频等，水印信号是用户需要隐藏的信息。水印检测系统与嵌入系统对应，实现水印的检测、提取功能<sup>[5]</sup>。

本文是利用数字半色调技术实现水印信息的嵌入，这种处理方式对水印的隐秘性要求较低，水印嵌入的过程是为了表示出该图像含有隐藏信息，因此系统不存在水印的检测过程，只需有水印提取过程。其中原始载体图像为一幅普通的二值图像。待嵌入的水印信息可以是一段码流，一段字符串或者一个网址，这种水印可以转为有意义的 ASCII 码流，数量估计在几十字节左右，即水印算法需要能够嵌入几百个 bit 的信息。本文中水印嵌入的流程图如图 1 所示，其中水印信息分别嵌入在二值图像的黑块部分和白块部分，并且这种嵌入方式是随机的。对于“0”和“1”用“不含噪声”和“含噪声”来表示。

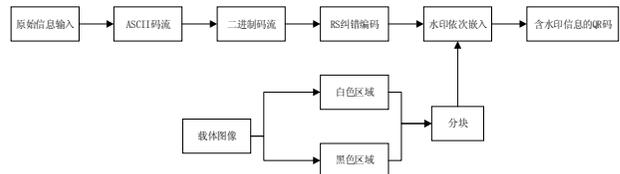


图 1 水印嵌入流程图

假设需要嵌入的密文信息转为二进制码流后为 0110，共 4 个 bit 信息，在对载体图像分块后，定将每一个小块再分成  $2 \times 2$  的大小，其中“0”表示没有噪点信息，“1”表示含有噪点信息。在白色块中，“1”作为密文信息由黑色进行表示；相应地，在黑块中，“1”作为密文信息由白色进行表示。具体嵌入后的结果如图 2 所示。

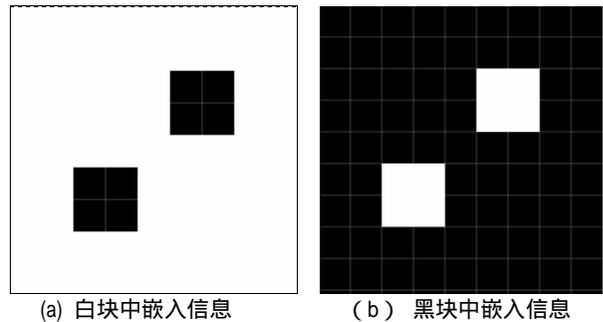


图 2 4bit 码流嵌入结果

本文以图 3(a)作为原始载体图像，对其嵌入一段由数字和字母组成的字符串，嵌入结果如图 3(b)所示。

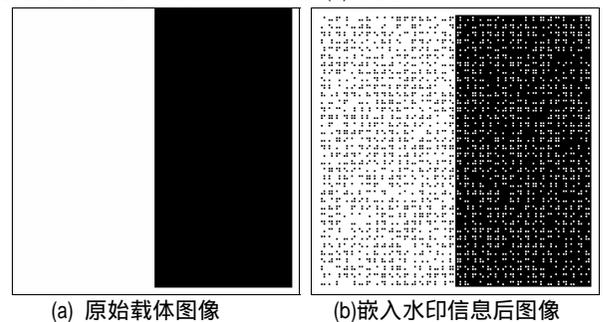


图 3 水印嵌入实例

## 2 二进制双极性基带系统

对于已经嵌入水印信息的图像，由于嵌入的水印信息是 01 的伪随机序列，可以将它看成是二进制双极性信号，假设它在抽样时刻的电平取值为 +A 或 -A（分别对应码“1”或“0”），则在一个码元持续时间内，抽样判决器输入端的混合波形（信号+噪声） $x(t)$  在抽样时刻的取值为

$$x(kT_B) = \begin{cases} A+n_R(kT_B) \\ -A+n_R(kT_B) \end{cases} \quad (1)$$

当发送“1”时， $A+n_R(kT_B)$ 的一维概率密度函数为

$$f_1(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left(-\frac{(x-A)^2}{2\sigma_n^2}\right) \quad (2)$$

当发送“0”时， $-A+n_R(kT_B)$ 的一维概率密度函数为

$$f_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left(-\frac{(x+A)^2}{2\sigma_n^2}\right) \quad (3)$$

在  $-A \leq x \leq A$  之间选择一个适当的电平  $V_d$  作为判决门限，根据判决规则将会出现以下情况：

对“1”码  $\begin{cases} x > V_d \text{ 判为“1”码 (正确)} \\ x \leq V_d \text{ 判为“0”码 (错误)} \end{cases}$

对“0”码  $\begin{cases} x \leq V_d \text{ 判为“0”码 (正确)} \\ x > V_d \text{ 判为“1”码 (错误)} \end{cases}$

因此，在二进制基带信号传输过程中，噪声引起的误码有两种差错形式：发送的是“1”码，却被判为“0”码；发送的是“0”码，却被判为“1”码。下面分别计算这两种差错概率。

发“1”时错判为“0”的概率  $P(0/1)$  为

$$P(0/1) = P(x \leq V_d) = \int_{-\infty}^{V_d} f_1(x) dx = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{V_d - A}{\sqrt{2}\sigma_n}\right) \quad (4)$$

发“0”时错判为“1”的概率  $P(1/0)$  为

$$P(1/0) = P(x > V_d) = \int_{V_d}^{\infty} f_0(x) dx = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{V_d + A}{\sqrt{2}\sigma_n}\right) \quad (5)$$

假设信源发送“1”码的概率为  $P(1)$ ，发送“0”码的概率为  $P(0)$ ，则二进制基带传输系统的总误码率为

$$P_e = P(1)P(0/1) + P(0)P(1/0) \quad (6)$$

将公式(4)和(5)代入到公式(6)中，在  $A$  和  $\sigma_n^2$  一定的条件下，可以找到一个使误码率最小的判决门限电平，称为最佳门限电平。

若令  $\frac{\partial P_e}{\partial V_d} = 0$ ，可求得最佳门限电平为

$$V_d = \frac{\sigma_n^2}{2A} \ln \frac{P(0)}{P(1)} \quad (7)$$

### 3 基于最佳判决门限的水印信息提取

在本文中，由于载体图像中嵌入的数字水印为“0”“1”序列的码流，因此可将其作为二进制双极性信号，分别对应信码的“0”和“1”。在信息提取时，若将原信码“1”误提取为“0”的概率为  $P(0/1)$ ，若将原信码“0”误提取为“1”的概率为  $P(1/0)$ ，则信息提取的总误码率为公式(6)所示，对于不同的判决门限会得到不同的总误码率  $P_e$ ，当所得的  $P_e$  最小时对应的判决门限  $V_d$  为最佳判决门限。

含水印信息的图像经过打印输出后，首先由手机或相机等设备进行图像采集，然后将采集到的图像裁剪为合适的大小，利用仿射变换并结合数字图像处理的相关知识对图像进行几何校正。针对校正后的含水印图像进行水印信息的提取是最关键的一步，为了更有效地提取水印信息，本文在这里通过最佳判决门限算法获取含水印信图像中嵌入的01码流，将提取的码流进行RS纠错恢复为原来的水印信息。水印信息提取的流程图如图4所示。

在对含水印信息的图像进行校正后，需要根据校正后的图像特征得到最佳判决门限。假设判决门限为  $V_i$ ， $i=1,2,3 \dots m$ 。信息提取的总误码率为  $P_i$ 。 $P_i$  可由公式(6)算出。

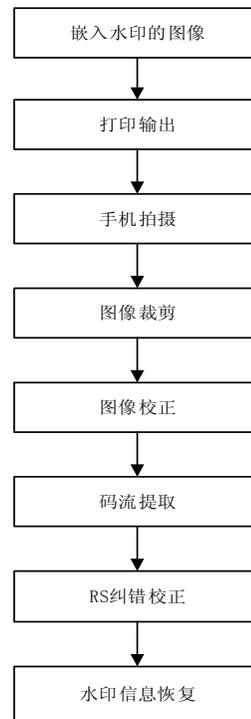


图4 水印信息提取

当  $i=1$  时，可计算得到  $P_1$  的值，并假设此时的  $P_1$  为最佳判决门限  $V_i$ 。然后计算  $i=2$  时  $P_2$  的值。并将  $P_1$  和  $P_2$  进行对比得到此时的  $V_i$ 。

$$V_i = \begin{cases} P_2, & P_2 \leq P_1 \\ P_1, & P_2 > P_1 \end{cases} \quad (8)$$

然后对  $i$  进行循环直到求出  $P_m$ ，终得到最佳判决门限  $V_i$ 。最佳门限获取的流程图如图5所示。

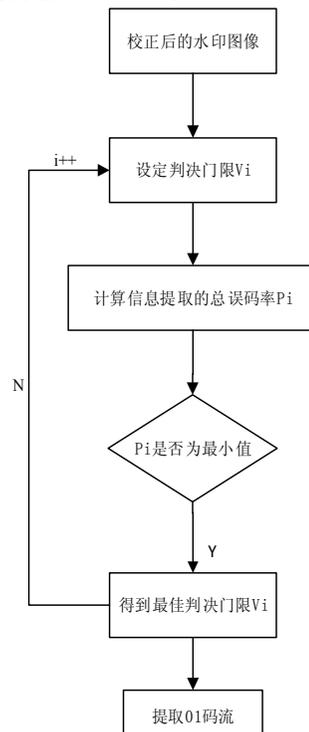


图5 最佳判决门限获取

### 4 实验测试

4.1 数据源

本文试验中所采集的测试图像是由华为智能手机在实验室拍摄的,大小为 3104 × 3104 像素,由于测试图像的分辨率较高,为了减少运算量本文将测试图像进行裁剪并变换图像大小为 500 × 500 像素。

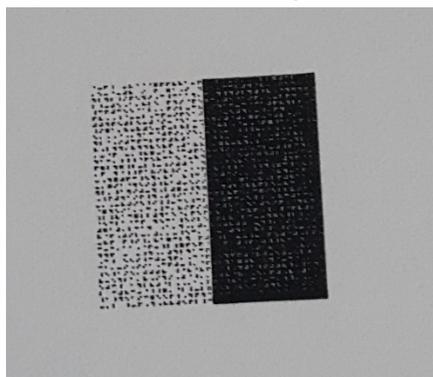
4.2 实验环境

实验平台为 Windows 7 操作系统下 Matlab 2010 b 版,计算机处理器为 intel core i5 3.3GHz,内存为 8GB。采用本文算法在 Matlab 软件上进行校正提取测试。

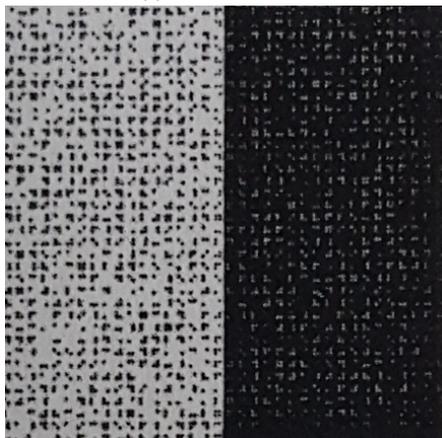
4.3 实验方法

首先将嵌入水印信息后的含水印图像打印输出,以图 3(b)为例,采用 hp laserjet 1020 系列打印机进行正确打印,然后由华为智能手机进行拍摄并裁剪为 500 × 500 像素大小,如图 6(a)所示,由于受拍摄环境的影响,往往会存在图像光照不均匀、几何失真等问题,严重影响了水印信息的正确提取,因此需要对拍摄的含水印图像进行几何校正,本文参考了文献[6]的校正算法思想,将角点检测算法与凸包算法相结合对失真的 QR 码图像进行几何校正,校正结果如图 6(b)所示。

获得校正后完整的含水印图像之后,本文采用最佳门限判决算法找到最适合水印信息提取的判决门限,考虑到图像的灰度值在 0-255 的范围内,经过对图像的大量测试,本文将判决门限的范围锁定在 10-100 的区间,在此合理区间内寻找最佳判决门限,对于不同的判决门限输入,会得到不同的噪声信息提取的正确率。以图 6(b)为例,在输入的判决门限为 10-100 时,输出的噪声信息提取正确率如图 7 所示。



(a) 手机拍摄图像



(b) 图像几何校正结果

图 6 含水印图像采集校正示例

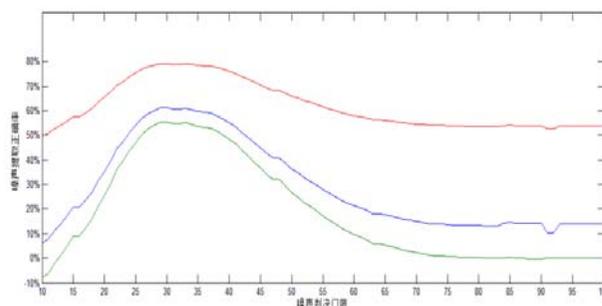


图 7 噪声信息提取

在图 7 中,绿色的曲线代表码流为“1”时的提取正确率,蓝色的曲线代表码流“0”正确率,红色的曲线代表噪声提取的综合提取正确率。随着判决门限的增加,“0”“1”码流曲线都呈现先上升后下降的趋势,当判决门限为 30 时,“0”“1”码流的提取正确率达到峰值,并且综合提取正确率也在峰值处,因此 30 为图 6(b)的最佳判决门限,根据此最佳判决门限能够提取“0”“1”码流,然后进行 RS 纠错处理,查找 ASCII 码表得到原始的水印信息。

本文嵌入的水印信息为随机文本信息,包括数字、字母和标点符号。按照水印嵌入和提取的流程,共进行了 100 次试验,在手机拍摄图像失真不严重的情况下,经过试验,水印信息提取的正确率为 95%。该实验表明本文提出的最佳判决门限获取算法是比较稳定的,水印信息提取结果较好。

5 结论

本文将数字半色调技术应用于水印信息嵌入中,根据伪随机编码规则将水印信息嵌入到载体图像中。对于打印输出经过手机拍摄的含水印信息的图像,在水印信息提取时根据最佳判决门限算法得到最合适的提取门限,从而准确地提取图像中包含的水印信息。经过实验测试证明本文提出的最佳判决门限获取算法是有效的,并且鲁棒性较强,能够较好地提取图像中包含的水印信息。因此本文基于打印拍摄图像的水印(噪点)信息的提取有一定的创新性和应用价值。

参考文献:

[1]曹鹏,刘喆灿,衣旭梅.半色调加网与信息隐藏技术[M].北京:电子工业出版社,2013.

[2]Xiaotian Wu .Visual data hiding in dot diffusion images.Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT).Korea , 2010.

[3]Panagiotis Takis Metaxas. Parallel Digital Halftoning by Error-Diffusion[J].ACM 1 - 58113 - 604 - 8 , 2003.

[4]Jia - Hong Lee, Mei - YiWu,and Hong - JieWu. A New Inverse Halftone Method Using Reversible Data Hiding for Halftone Images[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing , 2010.

[5]赵仁卿.基于数字水印的二维码技术研究[D].武汉:华中科技大学,2013.

[6]Kong Suran.QR Code Image Correction based on Corner Detection and Convex Hull Algorithm[J].Journal of Multimedia , 2013.