

基于多层次误差扩散加网的数字水印算法研究

万晓霞¹ 吴汉颖¹ 甘朝华¹

(1 武汉大学印刷与包装系, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要:提出了一种结合多层次误差扩散加网(multi-scale error diffusion)的印刷打印图像数字水印算法, 将信息隐藏在图像密度较小的区域, 提高了水印的检测成功率, 为印刷打印数字水印技术的推广提供了一种可供参考和借鉴的方法。

关键词:印刷/打印; 数字水印; 多层次误差扩散

中图法分类号: P237.3; TB89

关于图像的水印算法已经有许多种, 已有的印刷打印图像数字水印算法大多数只是停留在计算机模拟的阶段^[1]。特别是基于像素的空域算法由于其抵抗打印扫描攻击的能力非常弱, 检测成功率低, 进行仿真实验的论文不多^[2]。本文提出的基于多层次误差扩散加网的数字水印算法考虑到了打印、印刷过程的特点, 充分利用了印刷过程网点扩大规律, 为印刷打印数字水印技术的推广提供了一种可供参考的方法^[3]。

1 多层次误差扩散加网

基于多层次误差扩散加网的数字水印算法是一种结合了打印特点的信息隐藏方法, 它使用了一种特殊的加网方式, 称为多层次误差扩散加网(multi-scale error diffusion)。这种数字加网方法由 Ioannis Katsavounidis 等提出^[4], 是一种基于误差扩散的半色调图像生成方法, 它与常规的从左至右、从上至下的误差扩散方法的加网顺序不同, 而是采用一种类似于冲洗照片的方式, 密度大的区域首先加网, 密度小的区域最后加网。

1.1 加网原理

多层次误差扩散加网方法过程如下:

- 1) 将原连续调图像分为 4 个大小相同的子图, 原灰度图的大小必须为 2^n , 以便于细分;
- 2) 找出 4 个子图中像素强度和最小的一个存储在临时变量里, 作为下一步细分的对象;

3) 重复第 2) 步, 直至找到强度最小的一个像素, 将其像素值设置为 0, 并将由此产生的误差扩散到邻域;

4) 重复步骤 1)~3), 直到半色调图像中出现预先确定的 m 个黑色像素, 或者循环到加网图像与灰度图像的误差小于 128 为止。

此方法中, 将输出的半色调图像全部预设为白色像素, 即像素值全部为 255, 以便于观察多层次加网的效果。加网完成后, 产生的半色调图像中黑色像素的个数 m 为:

$$m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{i,j} / 255 \quad (1)$$

式中, x 为连续调图像的像素值, 在 0~255 之间。

根据式(1), 半色调图像的总灰度就和连续调图像的灰度相同, 从而较好地模拟了连续调图像, 保证了加网图像的视觉效果。

需要注意的是, 在寻找强度和最小的子块时, 需要用到一个误差矩阵 E 。用 X 表示原始连续调图像, 用 B 表示加网生成的半色调图像, 则

$$E = X - B \quad (2)$$

之所以要引入误差矩阵 E , 而不直接用原灰度图 X 来寻找强度和最小的子块, 是因为假使用原灰度图找到某个强度值最小的像素, 将其二值化为 0, 并将误差扩散到邻域后, 在接下来的第二次循环中, 寻找到的最小的像素还是这个像素, 从而形成死循环, 所以, 用原图来寻找强度最小的子图是行不通的。如果引入误差矩阵 E , 每次加网一个

黑色像素后, B 由 255 变为 0, 由式(2)可知, E 要增大, 下一次循环寻找最小的 E 子图时, 不会再是同样的位置, 所以这种衡量的方法是科学合理的。

1.2 实验结果

本实验中, 采用如下的误差扩散矩阵:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & -7/16 \\ -3/16 & -5/16 & -1/16 \end{bmatrix} \quad (3)$$

采用式(3)对大小为 512×512 的连续调灰度图 Lena 进行加网, 采用多层次误差扩散法, 按照式(1)计算出需加网的黑色像素个数 m , 分别加网到出现 $m/4$ 、 $2m/4$ 、 $3m/4$ 、 m 个黑色像素, 即完成加网 25%、50%、75%、100%, 其效果如图 1 所示。从图 1 可以看出, 多层次误差扩散加网方法首先对图像中密度最大的区域加网, 然后对密度较小的区域加网, 而本文提出的算法正是要利用该加网方法的这个特点。

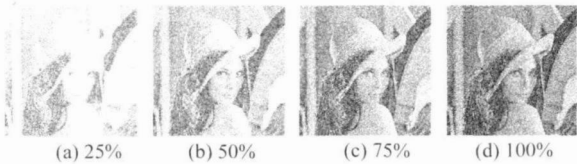


图 1 多层次误差扩散加网效果

Fig. 1 Effect of Multi-scale Error Diffusion Screening

2 多层次加网数字水印算法

利用图像密度小的区域网点扩大率小、扫描识别率较高的特点, 在最后出现黑色像素的地方嵌入水印。如果对应的黑色像素(像素值为 0)在原来的位置上, 就表示水印的 1; 如果黑点在邻域的位置上, 就表示水印的 0。这样, 通过最后阶段的加网, 利用黑色网点的位置关系即可隐藏水印信号^[3]。这种方法的关键在于其独特的加网方法, 结合打印过程的特点, 这种加网方法能够得到有效的利用。实践表明, 在网点百分比较低的区域, 图像的扫描识别准确率较高; 在密度较大的区域, 由于存在网点扩大, 扫描识别率较低。而在多层次加网的过程中, 最后进行加网的黑色网点恰好是在网点百分比较小的区域, 在这些区域嵌入水印信息可以保证提取时数据恢复的可靠性。

将图 1(d)以 150 dpi 的分辨率打印到普通打印纸上, 然后以 1 200 dpi 的高精度进行扫描, 截取扫描结果的一部分同原始图像作对比, 以观察密度较大区域和密度较小区域的微观效果, 比较

结果如图 2 所示。从图 2 可以发现, 密度较大的区域, 由于黑色像素的网点扩大, 白色像素被扩散的油墨覆盖, 成了像素值为 0 的黑色像素, 导致检测出现错误。误差扩散严重的地方, 网点变成了实地色块, 严重影响了扫描检测结果; 在密度较小的区域, 网点也有扩大, 但是一般没有产生连接现象, 不会导致误检, 扫描识别正确率较高。

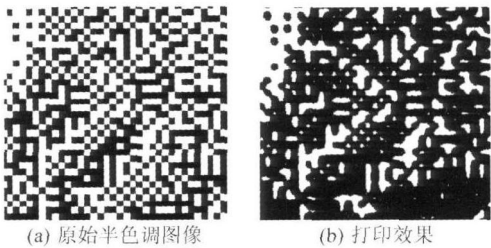


图 2 打印图像显微图

Fig. 2 Micrograph of Printed Image

本实验中使用的是 HP 激光打印机。在激光打印机工作过程中, 硒鼓表面的墨粉被吸引到打印纸上, 图像就在纸张表面形成了。此时, 墨粉和打印机仅仅是靠电荷的引力结合在一起, 在打印纸被送出打印机之前, 经过高温加热, 塑料质的墨粉被熔化, 在冷却过程中固着在纸张表面。而墨粉在熔化时, 必然导致一定程度的网点扩大。如果周围的像素都存在一定的扩大, 两个像素点就有可能连接在一起, 这样扫描时, 就会误把中间的白色像素读取为黑色像素。而在网点较少的区域, 网点之间则不会形成连接, 扫描识别正确率较高。如果把水印信息隐藏在这些位置, 扫描提取时, 准确率相对就要高一些。

2.1 水印嵌入

本实验中, 在大小为 512×512 的灰度图 Lena 中隐藏一幅大小为 64×64 的二值图像。图 3(d)即为隐藏对象, 水印信息量为 4 096 bit。对原始灰度图像 Lena 进行多层次加网, 进行到还剩下 4 096 位黑色像素时(黑色像素个数 m 由式(1)确定), 即加网到第 $m - 4\,096$ 个像素时, 开始结合水印图像确定黑色像素的位置。如果水印图像为白色像素, 即 $w_{i,j} = 1$, 则按照正常的加网算法进行; 若水印图像为黑色像素, 即 $w_{i,j} = 0$, 则半色调图像的黑色像素被放置到其邻域中的某个位置。

该算法水印植入过程如图 3 所示, 图 3(b)为进行多层次误差扩散加网后生成的半色调图像, 它含有 m 个黑色像素, 其平均灰度值与灰度图 3(a)的平均灰度值相同; 图 3(c)是在加网的末段, 在网点百分比较小的区域嵌入了含有图 3(d)

水印信息的半色调图像。

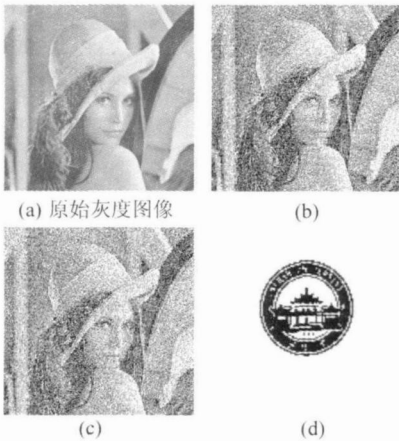


图 3 多层次加网数字水印算法计算机模拟效果
Fig.3 Simulating Result of the Watermarking Algorithm

2.2 水印提取

检测水印时,需要事先掌握原始连续调图像,否则无法找到水印嵌入的位置。对连续调图像进行多层次误差扩散加网,当进行到第 $m-64\times 64$ 个黑色像素时,读取水印载体图像(即图 3(c))上对应位置的像素值。如果该处为黑色像素,即 $E_{i,j}=0$,则表明水印信息为 1;否则,如果 $E_{i,j}=1$,则对应水印信息为 0。

本实验中,用普通打印纸以 150 dpi 的分辨率打印了图 3(c),然后以 300 dpi 的分辨率对该图进行扫描。获得原始图像以后,在图像处理软件 Photoshop 中进行倾斜纠正、裁切、重采样等预处理,获得与图 3(c)大小相同的二值图像,如图 4(a)所示。对该图像使用同样的水印提取算法,得到如图 4(b)所示的图像。

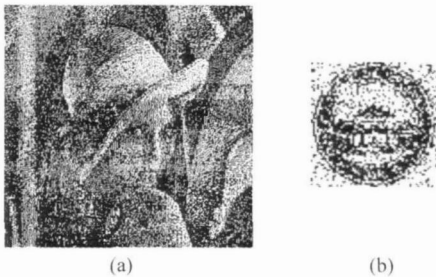


图 4 仿真实验结果
Fig.4 Experimental Results

3 结 语

多层次误差扩散加网数字水印算法是一种基于像素的空域水印算法,其独特之处是结合了打

印、印刷工艺的特点,在密度较小的区域嵌入水印,这样在提取水印时,其识别率将大大提高,改善了提取效果。在水印植入过程中,当水印信息 $w_{i,j}=0$ 时,需要改变某个嵌入位置邻域像素的值,一般来说,这种操作容易导致椒盐噪声。本算法中,由于需要改变的黑色像素处于密度较小的区域,不容易与周围其他黑色像素连接成色块,即不会形成干扰视觉的椒盐噪声。因此,多层次加网水印算法能够获得较好的视觉效果。

仿真实验表明,这种算法对于提高识别率、改善水印检测效果、防止椒盐噪声的形成有着明显的作用。但该算法还不是十分完善,还有如下几方面需要改进:① 进一步提高抗攻击能力。在打印扫描过程中,纸张、图像本身都会存在一定的形变,扫描时,图像会有一定程度的倾斜,如何提高水印的强度,使之在承受打印扫描的攻击后仍能检测到隐藏的信息,是首先需要解决的问题。② 降低算法的复杂度。本文提出的水印算法在加网过程中,每隐藏 1 bit 的信息都需要重新对整个图像进行细分,寻找应该被二值化的像素,计算量很大。提取时,同样需要对灰度图像进行这样的细分,相比其他算法,效率很低。降低植入和检测的复杂度,实现快速检测,是需要攻克的一个难题。③ 提高检测独立性。本算法中,需要依据原始连续调图像才能找到信息隐藏位,从而检测出水印,水印的提取依赖于原始图像。在实际应用中,这一点会带来很多不便,导致数据量庞大,检测难度提高。④ 考虑引入纠错方法。由于各种原因,打印扫描的 A/D 和 D/A 转换过程中存在严重的失真,图像的像素值往往变化较大,这就大大提高了误检的几率,所以可以考虑引入纠错机制,在出现个别比特误识的情况下仍能够正确地提取信息。

参 考 文 献

[1] Pappas T N, Neuhoff D L. Printer Models and Error Diffusion[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(1): 66-80

[2] Hel-Or H Z. Copyright Labeling of Printed Images [OL]. <http://ieeexplore.ieee.org/ie15/7368/19993/00924443.pdf>, 2000

[3] His-Chun Alister Wang. An Information Hiding Technique for Binary Images in Consideration of Printing Process [J]. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag , 2002

[4] Katsavounidis I, Jay-Kuo C C. A Multiscale Error Diffusion Technique for Digital Halftoning[J]. IEEE

Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 483-490

[5] 胡承伟. 基于人眼视觉系统模型的半色调图像数字水印算法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005

[6] Cox D, Hoover J. 数字水印[M]. 王颖, 译. 北京: 电子工业出版社, 2003

[7] 姚海根. 数字加网[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2000

[8] 数字水印技术之全观测[J]. 中国防伪报道, 2006(12):

第一作者简介: 万晓霞, 教授, 博士生导师。研究方向为图像传播。

E-mail: wan@whu.edu.cn

Watermarking Algorithm Based on Multi-scale Error Diffusion

WAN Xiaoxia¹ WU Hanying¹ GAN Chaohua¹
(¹ Department of Printing and Packaging, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: A new watermarking algorithm is presented based on multi-scale error diffusion, it hides information in the low dot percentage area, which has better data recovery performance than the area of high dot percentage. This technique enhances the performance of watermark extraction, and provides a new choice for the application of digital watermark in printed images.

Key words: print; digital watermark; multi-scale error diffusion

About the first author: WAN Xiaoxia, professor, Ph. D supervisor, majors in image communication.
E-mail: wan@whu.edu.cn

第 21 届国际摄影测量与遥感大会将于 2008 年在北京召开

经国务院批准,国家测绘局和中国测绘学会将于 2008 年 7 月 3~11 日在北京国际会议中心举办第 21 届国际摄影测量与遥感大会(简称 ISPRS 2008 Beijing)。此次大会是国际摄影测量与遥感学会(International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS)四年一度的学术盛会。预计将有 4 000 余名国内外代表相聚一堂,交流摄影测量、遥感、地理信息系统以及相关领域的最新研究成果,分享成功经验,研讨未来发展方向。

本次大会的主题是“铺就从影像到信息的丝绸之路(Silk Road for Information from Imagery)”。会议将安排 150 余场特邀报告、技术报告、张贴报告以及青年论坛、用户论坛、专题讲座、青年夏令营。会议论文摘要提交的截止时间为 2007 年 10 月 20 日,全文评审论文(仅适用于第三委员会)提交截止时间为 2007 年 11 月 20 日,青年优秀论文全文截止时间为 2008 年 1 月 31 日。关于会议的更多内容,欢迎登陆 ISPRS 2008 Beijing 官方网站: <http://www.isprs2008-beijing.org>。