

一种灰度图像打印机模型研究

李智杰¹, 崔文竹¹, 刘 欣¹, 李小莹²

(1 西安建筑科技大学 信控学院, 陕西 西安 710055; 2 陕西省彬县广播电视台, 陕西 咸阳 713500)

摘 要: 为了在计算机中数字化模拟灰度图像的打印过程, 首先分析现有打印机对灰度图像的处理和打印过程, 进而提出一种打印模拟算法, 其中先对数字图像打印前后分辨率和灰度级变化进行模拟, 再施加半调和点增益处理, 实现对打印过程的建模. 实验结果证实, 模型输出图像打印扫描后同原始图像实际打印扫描后相比, 相似程度十分接近, 其平均灰度差值仅达 1.448.

关键词: 打印机模型; 图像分辨率; 半调; 点增益

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0209-04

Research on A Gray Image Printer Model

LI Zhi-jie¹, CUI Wen-zhu¹, LIU Xin¹, LI Xiao-ying²

(1 College of Information & Control, Xi'an University of Technology & Architecture, Xi'an 710055, China;

2 Binxian Broadcasting Station of Shannxi Province, Xianyang 713500, China)

Abstract: In order to imitate the image distortion, which is aroused additional processing in the process of printer, factually, to show the image print effect. Based on analyzing the existed printer model, a print analogue algorithm is proposed. It can accomplish the model of printer, by imitating the image resolution and the change of gray-level in the process of printer, exerting halftone and dot gain. Experimental results show that the average gradation of the model is 1.448 compared to the actual printer image.

Key words: printer model; image resolution; halftone; dot gain

1 引言

由于打印机在打印过程中附加了一些处理, 导致打印出的纸质图像相对于计算机中原始数字图像有一定的偏差. 研究图像在打印过程中的这种失真, 可以建立适当的数学模型来模拟打印机对图像的打印. 合理并且精确的打印机模型, 可清晰理解打印机在处理图像过程中的加噪机理, 从而指导在后续应用中对降质图像的去噪. 因此, 研究精确模拟打印过程的一种数学模型显得尤为必要.

2 打印机总体模型

研究打印机的硬件结构和工作原理, 发现原始图像在打印过程中存在 4 个引入噪声的处理: (1) 分

辨率变换. 由于图像原有分辨率和打印分辨率很可能不同, 因此打印图像和原始图像便会拥有不同的像素数或打印点数, 此时打印机在打印图像之前会对原始图像进行缩放以适应输出; (2) 灰度映射. 图像打印前后的灰度级也产生了变化, 由此可以断定打印前打印机对图像进行了灰度调整以改善打印效果; (3) 半调. 打印机在打印连续色调图像之前必须对图像进行半调处理^[1], 因为打印机只可以打印黑点(打印)和白点(不打印). 半调图像即是二值图像(只包含 0 和 1), 半调技术则是一种将连续色调图像转化为二值图像的方法, 通常意义上可以理解为用二值灰度来实现更多的灰度级, 它利用了人眼视觉系统^[2]的低通特性; (4) 打印. 该处理会引入打印机的硬件设备噪声.

收稿日期: 2009-06-25; 修回日期: 2009-10-30

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2005F38)

鉴于上述分析,可以先设想将打印模型细分为 4 个子模型,其处理框图如图 1 所示.

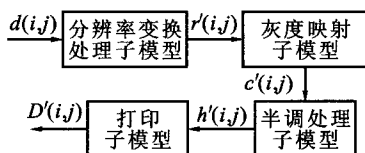


图 1 打印机模型框图

图中 $d(i,j)$ 表示原始连续色调灰度图像,经分辨率变换处理子模型处理后输出为 $r'(i,j)$,针对 $r'(i,j)$ 进行灰度映射后输出为 $c'(i,j)$,将其进行数字半调处理后得到 $h'(i,j)$,最后,将 $h'(i,j)$ 送入打印子模型,输出为模拟打印输出的数字图像 $D'(i,j)$. 下面将详细给出这些子模型的方法和验证过程.

在不失一般性的前提下,实验中采用的设备为 Cannon ix5000 打印机和 HP Scanjet 4850 扫描仪,图像原有分辨率为 75dpi,打印、扫描分辨率均设定为 300dpi.

3 各子模型求得过程及验证

文中构造了分辨率转换处理、灰度映射两个子模型并提出了整体模型方案,其他两个子模型为借鉴现有成果改进得到.

3.1 分辨率变换处理子模型

分辨率定义为设备水平或垂直方向上每英寸所能表示的点(像素)数,其单位为 dpi (dots per inch)^[3]. 假设一幅图像的像素数为 $m \times n$,其水平分辨率为 O_{rx} ,而垂直分辨率为 O_{ry} ,那么该图像的实际垂直尺寸为英寸 $m \div O_{ry}$,水平尺寸为 $n \div O_{rx}$ 英寸,此实际尺寸为图像的固有属性.

当打印分辨率与原图像分辨率不同的情况下输出图像时,可以基于图像实际尺寸不变的原则得到打印时的打印点数. 假设打印时水平和垂直分辨率分别为 P_{rx} 和 P_{ry} ,打印后打印图像的打印点数为 $x \times y$,由于两幅图像的实际尺寸应该相同,可得:

$$\begin{aligned} x &= m \div O_{ry} \times P_{ry} \\ y &= n \div O_{rx} \times P_{rx} \end{aligned} \quad (1)$$

此时可以利用式(1)构造分辨率转换子模型. 即借助成熟的插值算法,可将有 $m \times n$ 个像素的原图转换成 $x \times y$ 个打印点数. 该子模型中,鉴于非线性双三次插值算法可获得较好的图像质量^[3],故选择了该算法作为分辨率转换子模型的插值处理方法.

插值处理完成后,图像的像素数等同于打印点

数. 然而该图像的分辨率没有给定,还应调整其分辨率参数为对应的打印分辨率值. 由此可设计分辨率变换处理子模型处理流程如图 2 所示. 图中首先依据式(1)对原始图像 $d(i,j)$ 进行插值处理得到 $dz(i,j)$,之后更改 $dz(i,j)$ 的分辨率为 $P_{rx} \times P_{ry}$,输出即为 $r'(i,j)$.

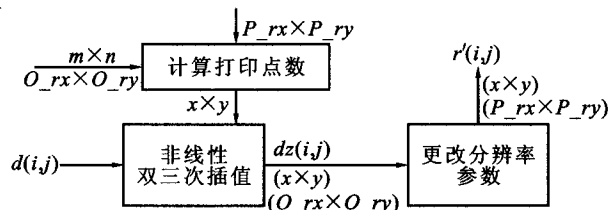


图 2 分辨率变换处理子模型框图

3.2 灰度映射子模型

鉴于灰度图像仅有 256 个灰度级,可穷举得到所有灰度级在打印前后的一一对应关系作为灰度映射规则. 基于该思想设计了实验方案,如图 3 所示.

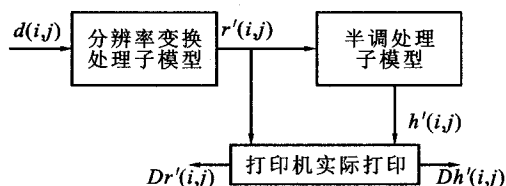


图 3 灰度级映射实验方案

依图中思路,可制作一幅包含 256 个灰度级的色块图像作为实验的输入图像 $d(i,j)$. 首先将 $d(i,j)$ 经分辨率变换处理得到 $r'(i,j)$,此时 $r'(i,j)$ 为拥有等同于打印图像像素数和分辨率的连续色调数字图像,之后将 $r'(i,j)$ 交由打印机直接打印,则打印机对该图像的分辨率转换处理后依然为 $r'(i,j)$,只完成对输入图像的灰度级映射和半调处理,得到的输出为 $Dr'(i,j)$;同时将 $r'(i,j)$ 送入半调处理子模型处理后得到的半调图像 $h'(i,j)$ 也进行打印,输出的图像为 $Dh'(i,j)$. 依半调算法原理,打印机对半调图像进行半调处理后依然为该半调图像,因此打印机在输入打印分辨率的半调图像时,只是真实地将每一个像素直接打印输出到纸质介质上,并不改变原半调图像的灰度级.

对两幅输出图像 $Dr'(i,j)$ 和 $Dh'(i,j)$ 进行同样条件扫描,扫描后的图像记为 $dr'(i,j)$ 和 $dh'(i,j)$,之后统计此两幅图像中各色块之灰度均值并做差,可绘制出图 4 所示的各级灰度均值及其差值变化曲线.

在图 4 中,横轴由左向右表示灰度级色块由 0 向 255 递增,纵轴表示在显示器上每个灰度级色块

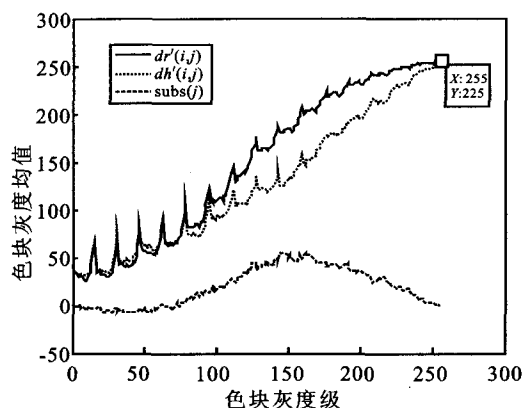


图4 灰度级映射实验统计结果

的平均灰度值.坐标系第一象限内上方的实线为图像 $dr'(i,j)$ 中各灰度级色块的灰度值变化情况,处于中间位置的点虚线为图像 $dh'(i,j)$ 的情况,而最下方的短划线为 $dr'(i,j)$ 减去 $dh'(i,j)$ 的灰度差值变化情况.此时记灰度差值为灰度映射调整向量 $subs(j)$.

显然,可利用 $subs(j)$ 对图4中图像 $r'(i,j)$ 的各灰度值进行调整,模拟打印引起的灰度级变化关系.由此得到灰度映射子模型:

$$c'(i,j) = r'(i,j) + subs(r'(i,j)) \quad (2)$$

3.3 半调处理子模型

半调处理子模型,主要描述对连续色调图像施加的数字半调处理,得到半调图像输出.鉴于文献[4]中对目前发表的各种半调算法的比较发现,传统的误差分散半调算法拥有最好的视觉效果.该方法将半调误差的谱能量集中在高频段,由于人眼的低通滤波特性,使得该方法得到的半调图像质量较高.由此,在选用半调处理子模型时确定了以 Floyd-Steinberg 为核的误差分散半调算法,该子模型以 $c'(i,j)$ 为输入,得到半调图像 $h'(i,j)$.

为了验证该模型的有效性,设计如图5的验证方案,其中输入图像 $d(i,j)$ 选定为连续色调灰度图像 peppers,将得到的输出图像 $Dh'(i,j)$ 进行扫描得到 $dh'(i,j)$,对比于将原图 $d(i,j)$ 进行了打印和扫描的图像 $d'(i,j)$,其效果如图6所示.

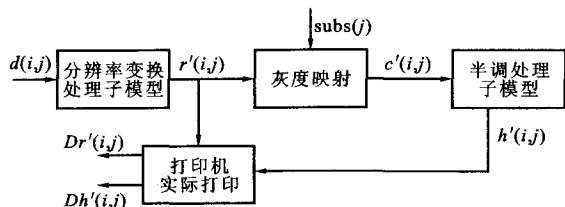


图5 灰度级映射子模型验证方案

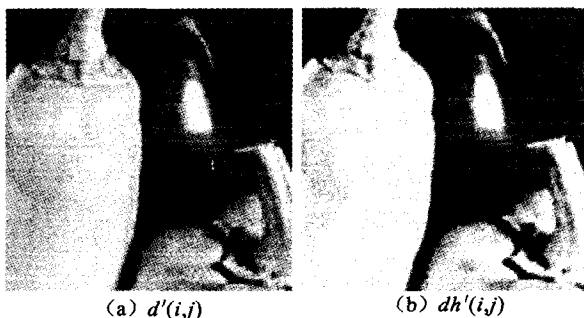


图6 子模型验证效果对比图

从图6的验证结果可以看出两幅扫描图像效果相近.提取其灰度分布直方图趋势也非常接近,其中 $d'(i,j)$ 的平均灰度值为 156.874,而 $dh'(i,j)$ 的平均灰度值为 158.322,差值仅为 1.448.可见,该子模型较好地模拟了打印图像前的各个处理过程.

3.4 打印处理子模型

在图像打印处理中会引入包括纸张、墨水、辊印、点增益等设备噪声^[5-6],由于其它因素很难确定和量化,因此在该模型中只考虑由于点增益现象带来的噪声影响.文中沿用了文献[7-8]的研究成果,打印处理子模型如下:

$$D(i,j) = \begin{cases} b, & \text{if } d(i,j) = 0 \\ w - k \times w \times \alpha, & \text{if } d(i,j) = 1 \end{cases} \quad (3)$$

其中, $D(i,j)$ 为打印后图像, $d(i,j)$ 为输入的半调图像; b 、 w 的取值为黑、白灰度级的估计值; k 的取值为当前白色像素 4 邻域内黑色像素的个数 $k \in (0,1,2,3,4)$; α 为灰度损失因子.经实验可近似求得 $b \approx 38$, $w \approx 255$, $\alpha \approx 0.043$.据此,可借助式(3)完成对打印处理中点增益程度的模拟.

4 实验结果

由于打印图像与原图拥有不同的分辨率,因此显示在同一设备上时,图像便拥有不同的显示尺寸,亦即像素数发生改变.图7给出了对于 peppers 图像的打印机模型处理结果图(部分),可以近似认为打印在纸质介质上图像的数字再现.该图像可作为进一步数字处理(例如扫描仪模型)的输入.

5 结束语

文中详细分析了现有打印机工作流程和原理,在此基础上提出了一种改进的打印机模型.通过实验证明,该模型处理后的图像经打印扫描与直接打印扫描图像误差明显缩小,从而提高了模拟打印机

处理图像的精确度. 由于本算法仅限于针对灰度图像的处理, 下一步应考虑将该模型拓展到彩色图像的应用中.



图 7 peppers 打印机模型结果图

参考文献:

- [1] Ulichney R A. Digital halftoning[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1987:233-331.
- [2] 江泽涛. 一种基于 HVS 和 EZW 的水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(2):48-50.
- [3] Ryu Byong Tae, Lee Jong. Resolution enhancement techniques for halftoned images[C]//Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. San Jose, United States, 2007:1479-1483.
- [4] 梁若莹. 彩色喷墨绘图机分色技术与数字半调技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2002:32-40.
- [5] Lee Je - Ho, Allebach Jan P. Inkjet printer model - based halftoning[C]//IEEE International Conference on Image Processin, Rochecter. United States, 2002:3-4.
- [6] 叶玉芬. 自适应反馈视觉感知差的误差扩散半色调算法[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(6):155-159.
- [7] 孔月萍, 于乐兵. 基于数字半调技术的打印机模型[J]. 微计算机信息, 2008(6):257-259.
- [8] Tsi - YiChao, Hsueh - Ming Hang. Inverse halftoning of scanned images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995(3):420-423.

作者简介:

李智杰 男, (1980-), 硕士, 讲师. 研究方向为图形图像处理等.
 崔文竹 女, (1983-), 硕士研究生. 研究方向为图形图像处理等.
 刘欣 男, (1978-), 硕士, 助理工程师. 研究方向为图形图像处理等.
 李小莹 女, (1972-), 助理工程师. 研究方向为图形图像处理等.

(上接第 208 页)

作者简介:

孙桂玲 女, (1964-), 教授, 博士生导师. 研究方向为信息检测与智能控制系统、无线传感器网络.
 纪永鑫 男, (1985-), 硕士研究生. 研究方向为信息检测与

智能控制系统、无线传感器网络.

张潺潺 男, (1986-), 硕士研究生. 研究方向为信息检测与智能控制系统、无线传感器网络.

李维祥 男, (1947-), 教授, 博士生导师. 研究方向为信息检测与智能控制系统、无线传感器网络.