

基于多级半色调技术的大幅面图像二级多遍输出方法^{*})

刘小丹 蔡 静

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院 大连 116029)

摘 要 面向大幅面平板式二级喷墨打印设备,提出一种输出多级半色调图像方法。采用二级多遍方式,在不降低喷墨打印速度的前提下,明显提高了大幅面平板式二级喷墨打印设备输出画面的质量。在 AMPL3200 平板式喷墨印刷机上该方法的有效性得到验证。

关键词 二级喷墨打印,多级半色调,误差扩散

Method for Bilevel and Multi-pass Printing Large Format Image Based on Multitoning Technique

LIU Xiao-Dan CAI Jing

(College of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

Abstract Proposed a method of printing multitoning image with large format platform inkjet printer. Combined bilevel inkjet printing with multi-pass printing, improved quality of output image and kept the working speed of printing. The effectiveness was verified by AMPL3200 platform inkjet printer.

Keywords Bilevel inkjet printing, Multitoning, Error diffusion

1 引言

近几年国产大幅面喷墨印刷机凭借自主知识产权和低成本的优势迅速占领了国内市场和部分国际市场。AMPLE3200 平板式喷绘印刷机是为适应不断变化的市场需求而开发的新型多功能喷墨印刷设备。作为一种新产品它与普通的滚筒式喷墨印刷机有很大区别,它的承印材料不再局限于传统的 PVC 卷材画布,可以是各种形状的固体板材,如玻璃、瓷砖、铝板、木板、皮革、纺织品等。它的喷印幅面是 3.2m × 4.3m,属于超大幅面平板式设备。设备采用二级喷墨喷头,即单个墨滴无浓淡变化。二级喷墨打印设备输出信息鲁棒性好^[1],对诸如器件老化、电压波动、环境温度和墨水质量变化等影响因素不敏感,市场上绝大多数喷墨打印设备仍为二级模式,尽管多级模式喷头已经问世。由于功能的要求,大幅面平板式喷墨打印设备必须具备印刷速度快(20~50m²/h)、承印材料广泛、使用油性墨、画面色彩艳丽和耐候性好等特点,采用二级模式更为合适。半色调技术正是二级模式打印设备输出连续色调图像的基础。通常采用多遍喷印方法,通过增加覆墨遍数的手段来保证画面的色彩浓度,但带来低灰度区域纹理粗糙问题。多级半色调技术控制每个像素点的墨点多级浓度,可获得单点的色阶更多,输出图像更逼真。这种技术面向各种多级模式打印设备,用于大幅面二级喷墨打印设备必须解决多级浓度的喷印实现方法和保证高速输出画面两个问题。

2 半色调输出的浓度与纹理

大幅面二级喷墨打印设备为了获得更高色彩浓度和更快的输出速度,通常采用多遍(PASS)的方法,但在半色调技术中,每个点重复打印浓度过高会导致低灰度区域的粗糙纹理。

半色调 RIP(Raster Image Processor)的画面灰度只通过单一浓度色点表示。为了提高处理速度,多遍的情况下每个色点都被多次喷印。通过提高半色调 RIP 分辨率,再行分离为 4 个子部分进行 4 遍喷印的方法会在一定程度上解决这个问题,但同时信息密度也会随之迅速增加,从而导致处理费时以及上位机与前端控制之间传输的数据量增大。这里的信息密度是指像素点所需信息数据的位数。

半色调技术是根据人类视觉系统模型在二级设备或多色二级设备上再现连续色调图像的一门技术,可分为调幅半色调技术和蓝噪声半色调技术,如有序抖动、误差扩散技术等^[2]。有簇点生成的调幅半色调模式具有一定的抗打印变形能力,输出图像局部清晰度较好,但不适合于二级打印设备。基于蓝噪声理论的调频半色调技术不仅能减少图像中的干涉条纹,消除彩色打印中的龟纹现象,还能生成色彩或灰度变化更为连续的图像,适合二级打印设备,但局部清晰度较差。绿噪声半色调技术是调幅和调频半色调技术的结合,同时改变簇点的大小及簇点间的距离,也同时具备调频和调幅半色调技术的优点。多级半色调技术可以看作是实现绿噪声半色调技术的一种手段。

多级半色调技术也是半色调技术的一个扩展,是一种用多值输出阵列表示连续色调图像的技术。为实现大幅面平板式二级喷墨打印设备的多级输出,我们提出基于多级半色调技术的二级 3 遍喷墨输出方法。设二级喷墨打印设备采用 3 遍喷印模式,用四级误差扩散的 RIP 技术做图像处理,控制每遍喷印 4 灰度级中的除 0 级以外的一个级别,使多遍喷印后表示不同灰度级别的墨点浓度不同。在低灰度区域,同一位置最多喷印 1 次,而在高灰度区域,同一位置最少喷印 2 次。用同一位置墨的浓度模拟 AM 的簇点行为,实现图像能量的正确再现。

^{*})本文工作得到国家自然科学基金 60372071 基金资助。刘小丹 教授,主要研究方向为图像处理、数字化印刷;蔡 静 讲师,硕士,主要研究方向为图像处理。

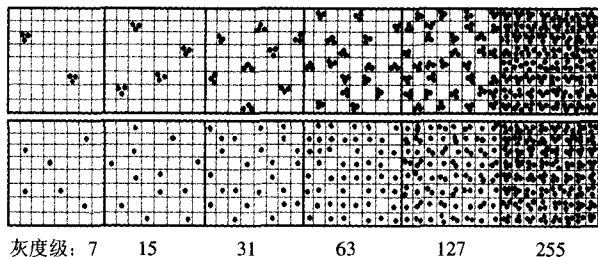


图1 半色调3遍喷印与4级半色调3遍喷印纹理对比

图1是半色调3遍重复喷印与4级半色调3遍喷印纹理对比示意,为便于分辨,图中单个墨点覆盖范围较实际情况小。单位面积内,对于相同灰度级别,墨量相同,但两种方法的画面纹理相差很大,尤其在低灰度区域。

3 二级3遍喷印算法设计

对于大幅面二级喷墨打印设备来说,由于打印尺寸大,每行程数据所要求的空间一般在5M~10M字节,无论是RIP处理还是把数据由上位机传输到前端控制机上都需要较长的时间。在采用4级半色调方式喷印时,信息密度增加1倍,RIP处理的时间变长。RIP处理的时间和喷印时间占了整个过程的绝大部分。由于两部分处理所使用的硬件不同,实现并行处理会提高整体工作速度,故采用动态RIP方式。动态RIP算法除4级半色调误差扩散处理外还涉及数据形式和喷嘴位置的关系、喷印工作区的刷新方式和数据传输方式等。

3.1 4级半色调误差扩散

多级半色调技术中的多级误差扩散(Error Diffusion)与半色调技术中的误差扩散原理相同,都是将图像量化过程中产生的误差分配给周围像素点,不同的是输出图像中像素点具有多个灰度级别而不只是2个。多级误差扩散变换的公式为:

$$i^*(m,n) = i(m,n) + \sum_{k,l} n(k,l) \cdot e(m-k,n-l)$$

$$b(m,n) = Q[i^*(m,n)] = Q[i(m,n) + \sum_{k,l} n(k,l) \cdot e(m-k,n-l)]$$

$$e(m,n) = i^*(m,n) - b(m,n)$$

$$= i(m,n) + \sum_{k,l} n(k,l) \cdot e(m-k,n-l) - b(m,n)$$

其中 $i(m,n)$ 表示输入图像在 (m,n) 处的像素值, $i^*(m,n)$ 表示修改图像在 (m,n) 处的像素值, $b(m,n)$ 表示输出图像在 (m,n) 处的像素值, $n(k,l)$ 表示误差在 (k,l) 方向上扩散的权重, Q^{-1} 表示多级量化器, $e(m,n)$ 表示量化误差。

选用 Floyd-Steinberg 四级误差扩散算法,阈值为 64、128、192,输出灰度为 0、85、170、255,可用 2 比特表示。与传统的半色调误差扩散算法相比,4 级半色调图像在灰度为 85 和 170 附近相邻量化电平相差较大,在图像面积较大的范围内信号缓变区能够看出不连续的跳变,即会在图像缓变区出现从一个量化电平到另一个量化电平之间的伪轮廓线。基于非连续色调纠正曲线的多级误差扩散算法^[4],屏蔽可能产生诸如伪轮廓等结构纹理的强度级别(intensity level)。算法中禁止的强度区域较大,强度跃变,屏蔽范围内部分色调失真明显。阈值调制技术^[3,5]是提高图像质量的一种有效方法,包括依赖输入图像的阈值调制方法,依赖输出图像的阈值调制方法和通用的阈值调制方法。阈值变化有利于实现边缘增强,抑制多余纹理,保证半色调健壮性。我们以半色调阈值调制技术^[6]为基础,在多级误差扩散算法中实现了通用的多阈值调制,设计了一个基于 Bayer 矩阵的快速阈值调制函数:

$$T = n + (F[x \% 8][y \% 8] \% n) \times m(i)$$

其中 (x,y) 表示当前像素在输入图像中的位置, F 为具有蓝噪声特性的 Bayer 阈值矩阵, n 取 64、128、192, $i \in \{0, 255\}$ 表示输入图像中的像素值, $m(i) \in \{0.0, 1.0\}$ 是与 i 值相关的调制力度 (Modulation Strength)。任意矩阵都可作为阈值矩阵,但为了使半色调图像更接近连续色调图像,要求阈值矩阵应该具备以下两点性质:阈值的一致分布和阈值的均匀空间分布。Bayer 阈值矩阵具有第一性质。具有蓝噪声特性的 Bayer 阈值矩阵符合人眼低通滤波性的要求,可以达到较好的视觉效果。当通过模除运算 $F[x \% 8][y \% 8]$ 将 Bayer 阈值矩阵覆盖在整幅图像上时,基本满足第二性质。

3.2 喷印工作区数据滚动递减

动态 RIP 是指把欲印刷图像的 RIP 处理进行分割,按行程对图像进行 RIP 处理,并把 RIP 后的结果分批传输到印刷机上,以实现部分 RIP 结果的喷印和剩余部分 RIP 的并行处理。

以 AMPLE3200 平板式喷墨印刷机为例。使用 12 个 XAAR128 喷头,喷头基础分辨率 185DPI。CMYK 4 色,每色 3 个喷头,每喷头 128 个喷嘴,按纵向排列。考虑喷头机械安装条件,每色 3 个喷头的位置不是在一条纵向线上,而是相互错开固定的位置。喷头摆放位置如图 2 所示,Num 是同色喷头间水平距离。

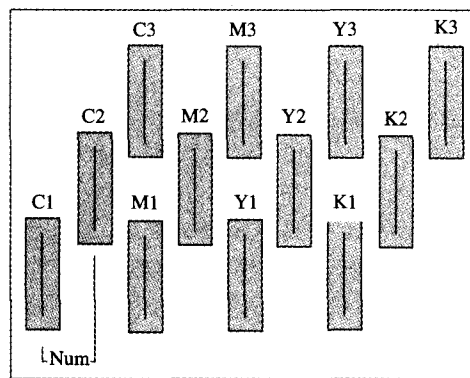


图2 喷头摆放位置

图像数据经 RIP 处理,形成喷头点火驱动数据送至传输缓冲区再由 USB 口送到前端控制机给喷头点火。点火驱动数据格式与喷头摆放位置及前端控制机驱动喷头方式相关。USB 口送来的当前位置喷头点火数据应是按喷头摆放位置装配好的,且按以下顺序:

C1M1Y1K1C2M2Y2K2 C3M3Y3K3C4M4Y4K4
 C1M1Y1K1C2M2Y2K2 C3M3Y3K3C4M4Y4K4
 C1M1Y1K1C2M2Y2K2 C3M3Y3K3C4M4Y4K4

 C1M1Y1K1C2M2Y2K2 C3M3Y3K3C4M4Y4K4

2 字节对应 12 个喷头的同一编号喷嘴 (C4M4Y4K4 空置),128 个字 (256Byte) 对应全部 12 个喷头的 12×128 个喷嘴。

RIP 工作区准备一行程数据送到喷印工作区时,4 色数据已经按喷头的 4 色距离重新组合。当生成喷头点火数据时,将同色的 1,2,3 喷头间距离体现在当前点数据装配上。当前点指 12 个喷头的所有喷嘴同时对应的着墨点。

图 3 是 3PASS 喷印工作区的数据存取示意,Num 是同色喷头间水平距离, n 是一个行程的水平点数,亦即图像的宽度 (以像素为单位)。

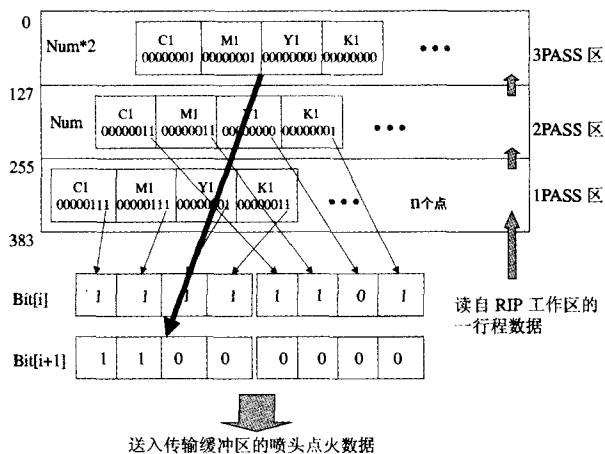


图 3 3PASS 喷印工作区的数据存取

为了保证喷印工作速度,在喷印工作区采取 4 灰度数据移位递减处理方法。将每像素 4 灰度数据以一个全字节方式放入喷印工作区,0 级用全 0 表示,1 级用 00000001,2 级用 00000011,3 级用 00000111。组织当前点点火数据时,对喷印工作区中所有数据只取最低位,之后将所有数据右移 1 位并滚动到下一 PASS 区中。一个行程中,3PASS 同时喷印;行程结束后,喷头组前进 128 个喷嘴距离。按上述方式存储虽然浪费一些喷印工作区空间,但组织当前点点火数据和处理灰度数据递减操作的时间效率明显提高。

3.3 算法

4 级半色调 3PASS 喷印主算法:

- (1) 读入图像文件首 2 行数据到 RIP 工作区;
- (2) 对当前行程调用单行程 RIP 算法;
- (3) 根据 3 组喷头的偏移位置,把 RIP 工作区中的数据按每像素一字节形式映射到喷印工作区的 1PASS 区;
- (4) 对整个喷印工作区,提取一行程各点的点火驱动数据并送至传输缓冲区;
 - (4.1) 取 1PASS 区当前第 i 个喷嘴 CMYK 数据 4 byte 的最低位各 1bit,按照 CMYK 顺序写入 BIT $[i]$ 的高 4 位;
 - 取 2PASS 区当前第 i 个喷嘴 CMYK 数据 4 byte 的最低位各 1bit,按照 CMYK 顺序写入 BIT $[i]$ 的低 4 位;
 - 取 3PASS 区当前第 i 个喷嘴 CMYK 数据 4 byte 的最低

位各 1bit,按照 CMYK 顺序写入 BIT $[i+1]$ 的高 4 位;

- (4.2) 重复(4.1)直到 128 个喷嘴数据提取完转 3.3;
- (4.3) 重复(4.1)、(4.2)直到一行程的点火驱动数据提取完;
- (5) 通过 USB 口发送传输缓冲区中的喷头点火数据;
- (6) 对喷印工作区中的数据全部右移一位,向上滚动喷印工作区中数据到下一 PASS 区;
- (7) 如完成最后一行程,结束,否则转 1。

单行程 RIP 算法:

- (1) 读入图像文件中一行程数据 M 行到 RIP 工作区第 2 至 $M+2$ 行;
- (2) 执行多阈值调制 4 级误差扩散算法生成 4 灰度级别喷印数据;
- (3) 按喷头的 4 色距离重新组合 4 色数据,并按喷头摆放位置装配好;
- (4) 加入喷嘴自动清洗条控制数据;
- (5) 将 RIP 工作区最后两行移到首 2 行;
- (6) 结束。

结论 基于多级半色调技术的二级多遍喷墨输出方法已经在 AMPLÉ3200 平板式喷墨印刷机上使用,设备印刷输出速度保持在 $25\text{m}^2/\text{h}$,画面质量明显改善,消除了半色调多遍喷印产生的粗糙纹理,说明二级多遍输出是提高大幅面二级喷墨打印设备输出画面质量的有效方法。AMPLÉ3200 平板式喷墨印刷机是我们 2004 年开发的新机型,目前正在广东顺德宏垒皮革制造有限公司试运行,主要用于皮革花纹和图案印刷。

参考文献

- 1 Lee Je-ho, Allebach J P. Inkjet Printer Model-Based Halftoning [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(5): 674~688
- 2 Lau D L, Arce G R, Gallagher N C. Green-noise digital halftoning [A]. International Conference on Image Processing [C]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(12): 2424~2444
- 3 Yu Qing, Parker K J, Spaulding K, et al. Improved digital multi-toning with over-modulation scheme [A]. Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy and Graphic Arts III [C]. SPIE, 1998, 3300: 362~373
- 4 Ostromoukhov V, Hersch R D. Structure artifact free multi-level error diffusion algorithm [A]. International Symposium on Electronic Image Capture and Publishing [C]. SPIE, 1998, 3409
- 5 Eschbach R, Fan Zhigang, Knox K T, et al. Threshold modulation and stability in error diffusion [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2003, 20(4): 39~50
- 6 Zhou Bingfeng, Fang Xifeng. Improving mid-tone quality of variable-coefficient error diffusion using threshold modulation [J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 437~444

(上接第 174 页)

还可以进行某些特殊棋形的模式匹配,加入启发式判断以使聚类结果更合理。综合采用这些措施后,棋群的最终聚类结果如图 5 所示,比初步聚类结果更符合人类棋手的判断。此例为专业棋手实战对局。

结果及讨论 以专业棋手实战对局 250 谱检测此算法,聚类结果符合业余二段棋手的判断的占 72%,说明此算法是行之有效的。

这种基于数学形态学的棋群聚类算法运算简单,如果初步聚类结果不合适时还需结合某些搜索算法,但这是在棋群初步确定的基础上进行的,搜索空间已大大减小。

该算法尚未考虑劫对棋群聚类的影响。劫是一个非常复杂的问题,因为涉及到劫材的多少,而这其实是一个全局性问题。轮下方不同,棋群聚类结果也可能不同,实战中这种局面常常出现,所以在实际聚类时也必须考虑到这一点,这样,棋群聚类结果具有一定动态性,需进一步结合局面评价函数完成选点任务。此算法对于不同棋手的对局的聚类效果可能不一样,如棋风飘逸型较棋风稳重型的棋手的棋群聚类动态性

大,可以结合聚类结果的历史进行判断以求聚类结果的合理。

有些研究尽管没有提到数学形态学,但其采用的方法实属于数学形态学方法,如估计棋群外势的影响时的距离算法^[6]。这些启发式算法受启发于围棋概念如“气”的概念本身,若进一步和数学形态学的概念结合,并充分利用数学形态学在图像处理领域已有的研究成果,可发现更多的可调节因素,设计出更多有弹性的启发式算法。

参考文献

- 1 Müller M. Computer Go. Artificial Intelligence, 1992, 134: 145~179
- 2 Sonka M, 等著. 图像处理、分析与机器视觉. 艾海舟, 等译. 北京: 人民邮电出版社, 2003
- 3 Zobrist A. A model of visual organization for game of Go. In: proc. of the spring joint computer conference, 1969, 34: 103~112
- 4 Smith C. A Computer-Go board evaluation function. [PhD Thesis]. Department of Computer Science at Trinity University, 2004
- 5 Bouzy B. Mathematical morphology applied to computer Go. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2003 17(2), 257~268
- 6 van der Werf E. AI techniques for the game of Go. [PhD thesis]. Universiteit Maastricht, Maastricht, The Netherlands, 2004