

一种大幅面二级设备输出多级半色调图像的方法

刘小丹, 杨 燕

(辽宁师范大学 计算机与信息技术学院, 辽宁 大连 116029)

(liuxiao8866@sina.com)

摘 要:基于绿噪声技术,提出一种大幅面二级喷墨打印设备输出多级半色调图像的新方法,其中采用阈值调制技术设计了多级误差扩散方法较好地解决了伪轮廓问题。实验表明使用该方法大幅面二级喷墨打印设备输出多级半色调图像效果良好。

关键词:多级半色调;绿噪声;伪轮廓;阈值调制;打印

中图分类号: TP391.41; TP334.8 **文献标识码:** A

New method of printing multitone image with large format bilevel printer

LIU Xiao-dan, YANG Yan

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

Abstract: In order to print multitone image with large format bilevel inkjet printer, a new method based on the technique of green noise was proposed. Multiscale error diffusion method was designed by the technique of threshold modulation, and then the false contouring of the output was removed. The experimental results show that the multitone image got is favorable.

Key words: multitone; green noise; false contouring; threshold modulation; printing

0 引言

尽管多级喷墨打印设备已经问世,但由于输出稳定性远低于二级喷墨打印设备,加上喷头制造成本过高且使用寿命短,目前无法取代后者。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。大幅面喷墨打印设备主要用于户外图像印刷,应具备印刷速度快、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。大幅面二级喷墨打印设备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,但带来高亮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和处理速度两个问题。提出了一种基于绿噪声技术的四级 RIP 方案。同时针对多级半色调图像中的伪轮廓问题,在已有技术基础上提出了面向大幅面二级喷墨打印设备的两种基于阈值调制技术的多级误差扩散方法。研究结果在我们开发的飞图系列和川页系列大幅面喷墨印刷机上得到验证。

1 多级半色调的二级输出

半色调技术是根据人类视觉系统(Human Visual System, HVS)模型,用数学和计算机等工具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(AM)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 AM 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(FM)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 AM 和 FM 半色调技术的结合,同时改变簇点的大小及簇点间的距离,具备 FM 和 AM 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。为实现大幅面二级喷墨打印设备的多级输出,我们提出一种基于绿噪声技术的四级 RIP(Raster Image Processor,光栅图像处理器)方案。设二级喷墨打印设备采用 4 遍喷印模式,用四级误差扩散的 RIP 技术做图像处理,控制每遍喷印四灰度级中的一个级别,使 4 遍喷印后表示不同灰度级别的墨点浓度不同。在高亮度区域,同一位置最多喷印 1 次,而在暗调区域,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。多级半色调要求用动态 RIP 方式支持。在采用多级半色调方式喷印时,由于信息密度成倍增加, 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处理速度。动态 RIP 算法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、数据传输方式等。

2 四级误差扩散半色调的伪轮廓问题

评价半色调图像和多级半色调图像质量除了基于均方信噪比思想的 NMSE、PSNR 和人类视觉系统加权均方误差(HVS-Weighted Mean Square Error, HWMSE)^[3]等度量方法

外,还包括频谱分析方法。绿噪声理论认为,理想的网点分布的傅立叶变换频谱中应具有较多的中频信息。

多级半色调技术中的多级误差扩散(Error Diffusion, ED)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二个。多级误差扩散变换的公式如下:

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

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) 方向上扩散的权值, $Q[\cdot]$ 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 的四级误差扩散图,画面中伪轮廓现象明显。HWMSE 是一种基于 HVS 模型的评价手段,提供了分析伪轮廓产生原因的方法。如图 1 所示二级半色调曲线上灰度为 0、255 和四级半色调曲线上灰度为 0、85、170、255 附近,曲线近似于“V”型,均方误差(MSE)存在 0 值,说明图像信号两个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轮廓线。就灰度梯度标准渐变图而言,假设 82~88 灰度范围内原图像与四级输出图像的均方误差为 0,即原图中有 7 级邻接且连续的灰度带经量化处理后对应的输出灰度均为 85,这样人眼就很容易发现伪轮廓。需要指出的是,即使原图中像素值 ≥ 240 的对应输出均为黑点或像素值 ≤ 15 的对应输出均为白点,人眼也很难发现伪轮廓现象,因为人眼几乎感知不到上述极亮或极暗区域的图像细节信息,相反还会提高输出图像的对比度。

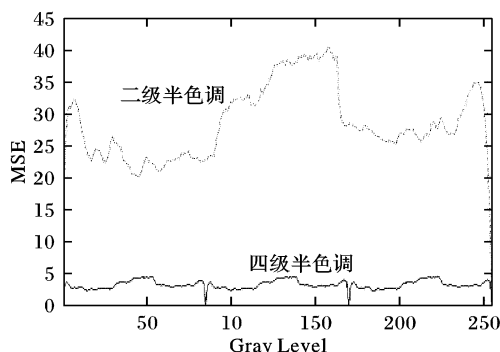


图1 半色30调和多级半色调 HWMSE 评价

3 基于阈值调制技术的四级误差扩散

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。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^[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。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。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。

如表 1 所示,虽然用 Bayer 阈值矩阵进行多阈值调制的 PSNR 值较大,有效地解决了四级半色调输出中的伪轮廓问题,但却引入了轻微的规则纹理,见图 2(b)和图 3(b)。特别在灰度相同的大面积区域,这种“掩膜”效果相对明显。与图 2(a)和图 3(a)相比,本算法基本消除了伪轮廓。

表1 灰度梯度标准渐变图的四种半色调处理的 PSNR 值

算法	PSNR
Floyd-Steinberg 2-ED	3.8300e+005
基于 Floyd-Steinberg2-ED 的 4-ED	3.6785e+006
基于 Bayer 矩阵的多阈值调制 4-ED	2.9200e+006
随机阈值调制 4-ED	1.9425e+006

根据随机数的等概率分布特性同时考虑时间效率,又设计了一个随机阈值调制函数 RandModulation()。主要算法(以 0~127 灰度为例)如下:

- 1) 使用随机函数 rand()产生 0~127 之间的伪随机数 t 。
 - 2) 比较当前像素和 t 的值,若当前像素小于 t ,则输出 0;否则,输出 85。
 - 3) 计算误差并扩散。
 - 4) 如 RIP 处理结束,退出,否则对下一像素转步骤 1)。
- 对于值在 128~255 范围内的像素,算法同理。

该算法确定的阈值 t 是随机的,满足阈值的一致分布和阈值的均匀空间分布两点性质。

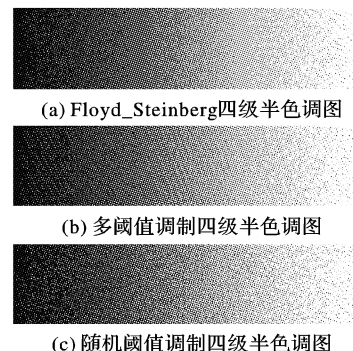


图2 灰度梯度标准渐变图的四级半色调图

图 2(c)和图 3(c)是随机阈值调制四级半色调图,基本上消除了规则的纹理结构。无论从主观感觉,还是从 PSNR 测度上,用误差扩散算法处理图像,其输出图像都是四灰度的优于二灰度的。虽然基于 Bayer 阈值矩阵的多阈值调制法和随机阈值调制法图像 PSNR 值略有减小,但由于基本消除了

(下转第 3042 页)

对各种不同的地形环境分别进行了实验,证实对不同的地形环境,实验的结果有所差别,甚至差别很大,尤其是在线路径规划时间,甚至可以相差几倍,这是由不同的地形类型和不同的先验知识引起的。另外程序的实现不同也会影响规划的速度。实验中还发现,机器人的侦测半径不同所得的结果也有所不同,这是因为在不同的侦测半径下,机器人在动态更新过程中所得到的和所要处理的信息是不同的,因而会对在线的规划产生影响。如果机器人所能侦测的信息较多但却包含很多无用或冗余信息,那么就会降低在线规划的效率。表1和表2分别给出了两种不同侦测半径情况下的各指标,当侦测半径为3m时,在线规划的效率明显降低;而另一方面,较大的侦测半径使机器人对周围的环境有了更多了解,从而减少了大角度转折情况的发生,所得的路径也更加合理。

表1 侦测半径为2m时的实验结果

环境信息	路径长度 /栅格	离线规划时间 /ms	在线规划时间 /ms
环境完全未知	863.774	351	22364
环境完全已知	255.814	2403	0
第一种先验信息	525.724	981	18818
第二种先验信息	268.018	560	5067

表2 侦测半径为3m时的实验结果

环境信息	路径长度 /栅格	离线规划时间 /ms	在线规划时间 /ms
环境完全未知	734.972	351	40806
环境完全已知	255.814	2403	0
第一种先验信息	482.272	981	30391
第二种先验信息	264.260	560	13951

4 结语

本文针对越野环境下移动机器人的导航与控制,提出了一种越野环境建模和动态路径规划方法。我们根据环境的

DEM,统计分析提取各种地形特征,并考虑机器人的性能约束,综合建立环境模型。在模型建立的同时,实际上就将DEM转换成了行进代价图,亦即障碍分布图。基于此障碍分布图的动态路径规划方法,通过全局信息与局部信息、前期规划结果与当前规划相结合的方式,满足了越野环境下的动态路径规划要求。

但在很多情况下,由机器人自行判断障碍是不准确的,其对障碍的理解能力是十分有限的,因此在机器人自主的同时加入人的指导,将会很好地提高机器人执行任务的安全性,然而人的指导是慢速的,机器人的自主规划是快速的,两者的有机结合将是今后研究重点内容之一。

实际中还发现由机器人车载传感器得到的小范围地图信息存在一个数据可信度的问题,如果这个问题较为严重,很可能导致机器人走很多不必要的弯路。今后的研究需要在局部更新中引入数据可信度。另一方面,问题空间的表示可以进行优化,以减少数据量和运算量,四叉树等方法将值得一试。

参考文献:

- [1] STENTZ A. Optimal and Efficient Path Planning for Partially-Known Environments[A]. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation[C]. 1994.
- [2] STENTZ A. Optimal and Efficient Path Planning for Unknown and Dynamic Environments [R]. Carnegie Mellon Robotics Institute Technical Report CMU-RI-TR-93-20, 1993.
- [3] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [4] 汤国安,刘学军,闫国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [5] YE C, BORENSTEIN J. T-transformation: Traversability Analysis for Navigation on Rugged Terrain[A]. Proceedings of the SPIE[C]. 2004, Vol 5422: 473 - 483.
- [6] ZHAN FB. Three fastest shortest path algorithms On real road networks[J]. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, 1997, 1(1): 69 - 82.

(上接第3038页)

伪轮廓,可以达到较好的视觉效果。基于 Bayer 阈值矩阵的多阈值调制法和随机阈值调制法都是可行的,同时适用于大幅面二级喷墨打印设备,前者的 PSNR 值大,图像有更好的层次感,后者网点分布随机性好,不会产生因 Bayer 阈值矩阵引入的轻微规则纹理。

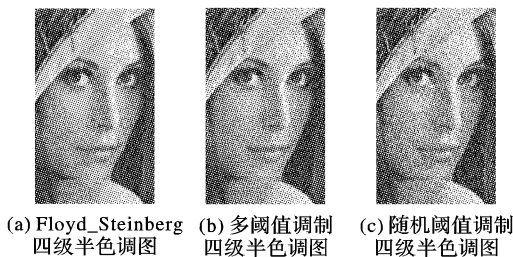


图3 Lena 全灰度图的四级半色调图

4 结语

目前国产大幅面喷墨打印设备依靠价格优势已经完全占领国内市场并批量出口。进一步提高设备性能是当务之急。针对我们开发的飞图系列和川页系列大幅面喷墨印刷机的技术升级问题,为实现在大幅面二级喷墨打印设备上输出高质量画面,提出了一种基于绿噪声半色调技术的多级 RIP 和喷

印方案,并对多级误差扩散算法的伪轮廓问题给出了适合大幅面二级喷墨打印设备的解决方法。该项技术已用于现有设备软件的升级,提高了输出画面质量。

参考文献:

- [1] LEE J-H, ALLEBACH JP. Inkjet Printer Model-Based Halftoning[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(5): 674 - 688.
- [2] LAU DL, ARCE GR, GALLAGHER NC. Green-noise digital halftoning[A]. International Conference on Image Processing [C]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(12): 2424 - 2444.
- [3] YU Q, PARKER KJ, 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, Vol 3300: 362 - 373.
- [4] OSTROMOUKHOV V, HERSCH RD. Structure artifact free multi-level error diffusion algorithm[A]. International Symposium on Electronic Image Capture and Publishing[C]. SPIE, 1998, Vol 3409.
- [5] ESCHBACH R, FAN ZG, KNOX KT, et al. Threshold modulation and stability in error diffusion[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2003, 20(4): 39 - 50.
- [6] ZHOU BF, FANG XF. Improving mid-tone quality of variable-coefficient error diffusion using threshold modulation[J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 437 - 444.