

基于喷墨印刷网点扩大的加网算法研究

王进, 张逸新

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 应用喷墨印刷中网点扩大的物理和光学扩大模型, 对误差扩散加网算法进行结合改进, 提出了结合喷墨网点扩大效应的误差扩散算法加网模型, 在图像加网处理过程中对网点扩大进行抑制, 从而改善印品质量。

关键词: 喷墨印刷; 网点扩大模型; 误差扩散; 加网算法

中图分类号: TS853⁺.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)07-0103-04

Study of Halftone Algorithm Based on Dot Gain in Inkjet Printing

WANG Jin, ZHANG Yi-xin

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Physical and optical dot gain model in inkjet was applied to ameliorate error diffusion halftone algorithm. An error diffusion halftone algorithm was put forward, which considers dot gain effect of inkjet printing. The algorithm can depress dot gain in image screening process and improve print quality.

Key words: inkjet printing; dot gain model; error diffusion; halftone algorithm

喷墨印刷是一种非接触印刷工艺, 墨滴由喷墨嘴喷出, 墨滴喷出大小固定, 是一种能产生独立网点的印刷设备, 而且在喷墨印刷工艺中, 造成网点扩大的主要原因就是水性墨在纸张表面的铺展和渗透。通过对相应网点扩大模型与相关半色调加网算法的结合, 可以有效减小这一现象对喷墨印刷质量的影响。之前文献对喷墨印刷中物理和光学网点扩大已经有了较多深入研究^[1], 笔者的主要目的在于将物理与光学网点相结合, 并将其进一步与算法相结合, 达到比一般的扩大补偿更好的印刷效果。

1 喷墨网点扩大

喷墨印刷中使用的是水性墨, 墨滴在与纸张接触后很容易发生铺展和渗透。铺展引起物理网点扩大; 在铺展的同时, 油墨溶剂对纸张的渗透则改变纸张原有吸收和散射特性, 引起光学网点扩大。最终网点在人眼中是通过光线作用形成映像, 所以最后将 2 种扩大综合处理。网点在纸张表面的扩大见图 1。

假设所涉及过程涂布均匀, 纸张油墨参数稳定。

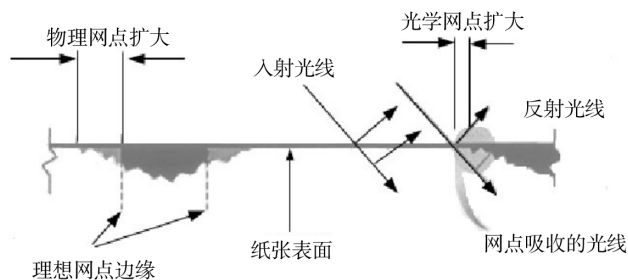


图1 网点在纸张表面的扩大

Fig.1 Dot gain on paper surface

为简化计算, 先将物理和光学网点扩大分别讨论。

1.1 物理网点扩大

引起网点物理扩大的因素: 油墨在纸张表面的铺展和渗透。对于网点的物理网点扩大, 最终展现的是实际网点面积的增大(σ 为网点最终面积率):

$$\sigma = \sigma_0 + \Delta\sigma \quad (1)$$

可以进一步写作关于 σ_0 多项式(系数 a, b, c):

$$\sigma = c + a\sigma_0 + b\sigma_0^2 \quad (2)$$

当纸张空白没有油墨时, 网点面积率 $\sigma = \sigma_0 = 0$, 由式(2)可以得到 $c = 0$ 。

收稿日期: 2010-09-30

作者简介: 王进(1985—), 男, 山东临沂人, 江南大学硕士生, 主攻印刷工艺。

通讯作者: 张逸新(1956—), 男, 江苏无锡人, 江南大学教授、博士生导师, 主要研究方向为纸张光学和大气光学。

当实地时, $\sigma = \sigma_0 = 1$, 由式(2)可以得到 $a + b = 1$ 。于是式(2)可以写做:

$$\sigma = \sigma_0 [a(1 - \sigma_0) + \sigma_0] \quad (3)$$

从而物理网点面积率扩大可以写作:

$$\Delta\sigma = \sigma - \sigma_0 = (a - 1)\sigma_0(1 - \sigma_0) \quad (4)$$

由比尔郎博定律:

$$R_k = R_g T^2 \quad (5)$$

由物理网点扩大引起的反射率的变化写作(墨层面积变化引起反射变化):

$$\Delta R_{\text{phy}}(\sigma_0) = (R_g - R_k) \Delta\sigma \quad (6)$$

由式(4)和(5)代入式(6), 并整理得物理网点扩大:

$$\Delta R_{\text{phy}}(\sigma_0) = R_g(1 - T^2)(a - 1)\sigma_0(1 - \sigma_0) \quad (7)$$

式中: T 为油墨层透射率; R_k 为墨层反射率; R_g 为纸张反射率; a 是与喷墨印刷系统、承印材料以及印刷环境相关量, 在一次不间断印刷中可以恒定。当 $a = 1$, 可以看作是没有网点扩大发生, 实际中 $a > 1$, 发生网点扩大, a 的取值可以由实验数据得出。

1.2 光学网点扩大

光学网点扩大又叫作 Yule-Nielsen 效应, 主要由光线在纸张中的散射造成。由莫里戴维斯方程:

$$R = R_g(1 - \sigma) + R_k \quad (8)$$

对于印刷品来说, 在纸张表面有 2 种状态, 即油墨网点覆盖和空白纸张表面。用 $\sum_0$ 和 $\sum_1$ 分别表示空白和网点部分, r_0 和 r_1 分别表示纸面和油墨任意两点, 则对任意从油墨处入射光线 $I_0 d\sigma_1$, 从空白处射出的光线可以写成:

$$d^2 J_{10} = p(r_0, r_1) T I_0 d\sigma_0 d\sigma_1 \quad (9)$$

根据比尔郎博定律, 不考虑油墨渗透, 则 T 为单层油墨透射率:

$$T = \sqrt{\frac{R_k}{R_g}} \quad (10)$$

$p(r_0, r_1)$ 就是纸张的点扩散函数。对式(6)分别在网点和空白区域, 即 $\sum_0$ 和 $\sum_1$ 区域二重积分就得到光子从网点扩散到空白区域的概率:

$$J_{10} = I_0 T \int_{\sum_1} \int_{\sum_0} p(r_0, r_1) d\sigma_1 d\sigma_0 \quad (11)$$

由点扩散函数 $p(r_0, r_1) = p(r_1, r_0)$ 得到 $J_{01} = J_{10}$, 即在均匀光线照射下, 印品表面网点部分和空白部分光线相互散射概率是相等的(互惠原理):

$$J_{10} = J_{01} = I_0 T \bar{p} \sigma (1 - \sigma) \quad (12)$$

式中: $\bar{p}$ 为光在油墨覆盖区域和空白纸张间交换平均概率。在光完全散射的条件下, 散射光在纸张各处散射出的概率是相等的, 也就是说对不变的印刷系统 $\bar{p}$ 是恒定且在承印物各处相等。 $\bar{p}$ 定义如下^[3]: $\bar{p} = \frac{1}{\sigma(1 - \sigma)} \int_{\sum_1} \int_{\sum_0} p(r_0, r_1) d\sigma_1 d\sigma_0$, 其中 $p(r_0, r_1)$ 是纸张点扩散函数。纸张的点扩散函数定义:

$$p = \frac{k}{1 + \left(\frac{r}{\sigma}\right)^p}$$

其中: $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $k = \frac{p \sin(\pi/p)}{\pi p}$, p 和 σ 表示点扩散的形状和长度。

同理, 设从网点区域入射的光子从网点区域射出的条件概率是 P_{11} , 从空白处射出的条件概率是 P_{10} , 类似, 从空白处入射的光子从空白处射出的条件概率用 P_{00} 表示, 从网点射出的条件概率用 P_{01} 表示:

$$R_k = P_{11} + P_{10} \quad (13)$$

$$R_g = P_{01} + P_{00} \quad (14)$$

$$P_{10} = \bar{p}(1 - \sigma) \quad (15)$$

$$P_{01} = p\sigma \quad (16)$$

调整 $\bar{p}$ 得到:

$$P_{10}\sigma = P_{01}(1 - \sigma) \quad (17)$$

可以得到空白部分的反射率:

$$R_0 = \frac{J_0}{I_0(1 - \sigma)} = P_{00} + T\bar{p}\sigma \quad (18)$$

$$\text{即: } R_0 = R_g - \bar{p}\sigma(1 - T) \quad (19)$$

同理可以得到网点区域的反射率:

$$R_1 = T^2 R_g = \bar{p}T(1 - T)(1 - \sigma) \quad (20)$$

由于 $R_k\sigma = R_g T^2 \sigma$, 莫里 - 戴维斯方程也可以表示成:

$$R_{\text{MD}} = R_g(1 - \sigma) + R_g T^2 \sigma \quad (21)$$

可以得到光学网点扩大 $\Delta R_{\text{opt}} = R_{\text{MD}} - R$, 即:

$$\Delta R_{\text{opt}} = (1 - T^2) \bar{p}\sigma(1 - \sigma) \quad (22)$$

上式即将光学网点扩大表示成了透射率 T 、光线在纸张内的横向散射概率 $\bar{p}$ 以及油墨网点面积覆盖率或网点面积 σ 的函数。

在实际的操作中, $\Delta R_{\text{opt}} > 0$, 也就是说实际的印刷图像的反射率 R 要小于莫里戴维斯值 R_{MD} , 这就使得图像要变暗, 相当于使网点比通过物理扩展获得的网点更大, 这就是光学网点扩大的原因。

1.3 物理与光学网点扩大综合模型

不管是物理网点扩大还是光学网点扩大, 都会对

纸张表面反射率的测量值产生影响。上面的讨论是假定经过物理网点扩大后,进行光学网点的计算。对物理和光学网点扩大引起的反射率改变可以表示为^[7]:

$$\Delta R = \Delta R_{\text{phy}}(\sigma_0) + \Delta R_{\text{opt}}(\sigma) \tag{23}$$

将式(7)和(22)带入(23)得到:

$$\Delta R = (a-1)\sigma_0(1-\sigma_0) + (1-T^2)\overline{p}\sigma(1-\sigma) \tag{24}$$

即
$$\Delta R = (a-1)\sigma_0(1-\sigma_0) + (1-\frac{R_0}{R})\overline{p}\sigma(1-\sigma)$$

印刷品的反射率最终可以写为 $R(\sigma) = R_{\text{MD}} - \Delta R$,即:

$$R(\sigma) = R_{\text{MD}}(\sigma_0) - \Delta R_{\text{phy}}(\sigma_0) - \Delta R_{\text{opt}}(\sigma) \tag{25}$$

由式(4)(17)(18)带入(25)即:

$$R(\sigma) = R_g(1-\sigma_0) + R_gT^2\sigma_0 - R_g(1-T^2)(a-1) \cdot \sigma_0(1-\sigma_0) - R_g(1-T^2)\sigma(1-\sigma) \tag{26}$$

在考虑网点扩大统一模型后,对某点(*m*,*n*)取等价密度值 *g*(*m*,*n*):

$$\tilde{g}(m,n) = -\ln[R(m,n)]$$

这样密度增大值可以写做:

$$\Delta\tilde{g}(m,n) = \tilde{g}(m,n) - g_0(m,n)$$

1.4 模型的验证

为了验证这个网点扩大模型,引入文献[8]中一组实验数据,这里仅选取黑墨数据,见表1。

表 1 同网点面积率下测得的网点反射率及相关数据
Tab.1 Reflection rate and relevant data of ink measured from different dot percentage

理想网点 面积率/%	实测网点 面积率/%	网点扩大值 $\Delta\sigma$	黑墨测量 反射率	模型计算 反射率
0	0	0	0.805 4	0.805 4
10	13	3	0.701 5	0.676 4
20	28	8	0.591 6	0.550 8
30	44	14	0.463 4	0.441 8
40	55	15	0.368 1	0.331 8
50	67	17	0.289 7	0.254 8
60	76	16	0.210 9	0.184 8
70	84	14	0.148 6	0.130 4
80	93	13	0.100 9	0.092 5
90	100	10	0.054 2	0.051 0
100	100	0	0.025 0	0

由前面式(4)以及表中数据,可以得到在此实验条件下的一个 *a* 均值。这里省去细节计算,可以得到在此实验数据(可以看作在一个固定印刷系统)下的

a = 1.56。根据式(10),计算得到黑墨 *T* = 0.176,这样由上面数据以及公式(22),通过计算得到模型的预测数据,这样根据上表相关数据生成坐标图,见图2。

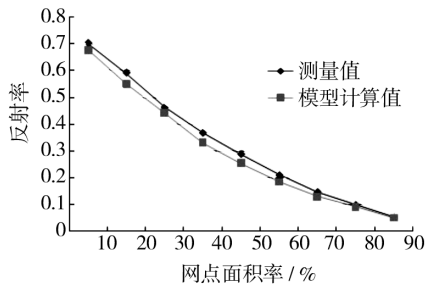


图 2 不同网点面积率下测得网点反射率
Fig. 2 Reflection rate of dots under different dot percentage

通过数据和曲线可以看出,建立的网点扩大的一般模型和实际测量值能够较好地拟合,在实际的印刷中,进行样张测试后就能对网点扩大进行较好的预测,也为后面对模型的应用提供一个有力的基础。

2 基于网点扩大模型的半色调加网算法

简单说,半色调就是将连续调图像进行处理后,用单色或多色二值图像实现阶调再现过程,然后再由打印机或是显示设备输出。误差扩散(ED)算法被一致公认为理想的半色调算法之一,可以产生有丰富的阶调、较好视觉效果 of 的半色调图像;直接二值搜索算法(DBS)是一种基于人眼视觉模型(HVS)的算法,处理效果较理想,但是计算复杂,要求高,实时处理不易实现。算法围绕误差扩散算法展开。

2.1 传统的误差扩散

误差扩散算法最早是由 Floyd 和 Steinberg 在 1976 年提出的。算法流程见图3,*g* 和 *b* 分别代表输

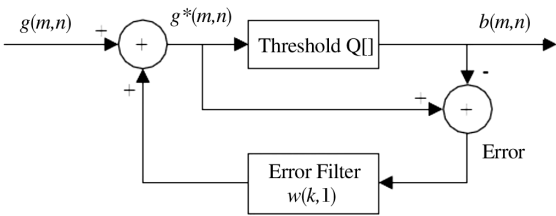


图 3 误差扩散一般流程
Fig. 3 Flow chart of error diffusion

入原图像和输出半色调图像,处理的基本方法就是将 *g* 中每个像素与阈值比较,得到一个二值输出,然后

将输入与输出的像素差以一定方式扩散到未经处理的区域。

$$g^*(m,n) = g(m,n) + \sum_{k,1} w(k,1)e(m-k,n-1)$$

$$b(m,n) = Q[g^*(m,n)],$$

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

即: $b(m,n) = g(m,n) + \sum_{k,1} w(k,1)e(m-k,n-1) - b(m,n)$

2.2 对比 DBS 流程

DBS 算法中引入的人眼视觉模型(HVS),模拟人眼的频域低通特性,即实际效果相当于低通滤波器,可以使半色调图像产生较接近人眼主观观察效果,见图 4。

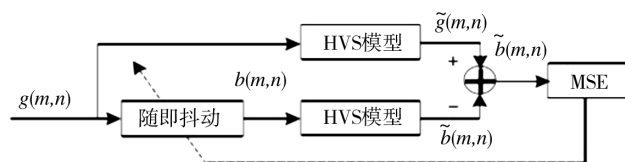


图 4 DBS 流程

Fig. 4 Flow chart of DBS

2.3 误差扩散改进

针对上述 2 种算法的特点,将 HVS 引入误差扩散算法,见图 5。对输出半色调图像纹理有一定改

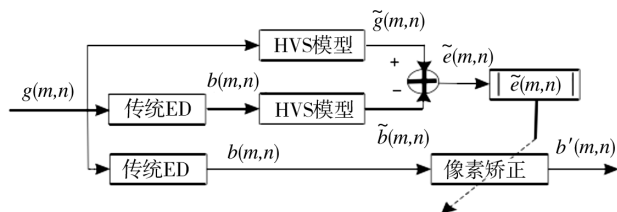


图 5 引入 HVS 的误差扩散流程

Fig. 5 Flow chart of error diffusion containing HVS

善,但是没有考虑到图像输出到承印物上所产生的网点扩大等影响因素。对此,将前面的网点扩大模型引入误差扩散算法改进中,进行图像像素的校正。具体操作如下。

将原图像和经过传统误差扩散图像 $g(m,n)$ 和 $b(m,n)$ 分别经过网点扩大模型修正,并通过傅里叶变换后通过 HVS 滤波器^[5],得到 $\tilde{g}'(m,n)$ 和 $\tilde{b}'(m,n)$,分别表示如下:

$$\tilde{g}'(m,n) = \text{IFFT}\{G(s,t) \times H_{\text{HVS}}(s,t)\}$$

$$= \text{IFFT}\{\text{FFT}[g(m,n)] \times H_{\text{GAUS}}(s,t)\}$$

$$\tilde{b}'(m,n) = \text{IFFT}\{B(s,t) \times H_{\text{HVS}}(s,t)\}$$

$$= \text{IFFT}\{\text{FFT}[b(m,n)] \times H_{\text{GAUS}}(s,t)\}$$

令 $\tilde{g}'(m,n)$ 和 $\tilde{b}'(m,n)$ 之间的误差为 $\tilde{e}'(m,n)$,

$\tilde{e}'(m,n) = |\tilde{g}'(m,n) - \tilde{b}'(m,n)|$ 这里取绝对差值,既可以准确反映出灰度差值,又减少了运算复杂度。由于网点扩大引起的图像灰度值的变化,在这里引入 $\tilde{e}'(m,n)$ 的控制中。例如像素灰度值为 0.7,经过二值化后变为 1,传统的误差扩散值为 $1 - 0.7$,考虑网点扩大后,实际像素灰度值为 0.8,在算法中就预先考虑 0.1 的扩大量,以 $0.7 \sim 0.1$ 为待处理值,从而减小了网点扩大对图像的影响,这就是这个模型建立的意义所在。改进的算法流程见图 6。

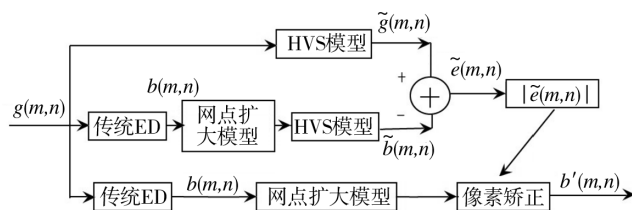


图 6 引入 HVS 和网点扩大模型的 ED 算法

Fig. 6 ED algorithm with HVS and dot gain model

上述算法与一般 ED 算法效果的对比见图 7。



图 7 算法效果比较

Fig. 7 Effect comparison of algorithms

3 结论

讨论了引起网点扩大的物理和光学因素,并且给出了相应的数学表达,通过反射率表达式将物理网点扩大和光学网点扩大结合得到一个印刷网点扩大的模型。对比传统误差扩散算法,本算法引入了 DBS 算法中人眼视觉模型(HVS),并将得到的网点扩大模型应用于了误差的扩散优化。

- [20] 余文华,李洁芝,陈功,等. 果蔬纳米保鲜膜的研制及其在青椒保鲜中的应用研究[J]. 四川食品与发酵,2008,44(5):28—31.
- [21] 陈果果,刘景春,卢立新,等. RiNa-纳米效应果蔬保鲜液膜及其应用技术研究[J]. 中国果菜,2007(1):42—43.
- [22] 赵贵兴,陈霞. 水果贮藏保鲜技术[J]. 北方园艺,2004(1):69—71.
- [23] 杨力,王江浪,马惠玲. 乙烯对苹果果实细胞壁降解效应初探[J]. 西北植物学报,2009,29(2):320—326.
- [24] 翟进升,刘艳红,郑泉. 环丙烯类乙烯作用抑制剂在园艺产品采后保鲜上的应用[J]. 上海水产大学学报,2004,13(4):353—361.
- [25] 徐小宁,马丽红. 1-甲基环丙烯在红富士苹果贮藏中的应用[J]. 西北园艺,2009(2):39—41.
- [26] 逯志斐,张平,李江阔,等. 1-甲基环丙烯对黄金梨低温贮藏效果的影响[J]. 食品研究与开发,2009,30(4):147—150.
- [27] 胡芳,马书尚,张继澍,等. 1-甲基环丙烯对“富有”甜柿采后主要生理指标及细胞超微结构的影响[N]. 园艺学报,2009,36(4):487—492.
- [28] 丁丹丹,王志华,王文辉. 1-甲基环丙烯保鲜水果效果及作用机制[J]. 北方园艺,2009(2):130—132.
- [29] 杨少桢. 果蔬采后乙烯的作用[EB/OL]. (2010-10-10). <http://www.worldyl.com/newsall21.asp?id=173>.
- [30] 郭玉花,黄震,伏清,等. 草莓的纳米活性分子筛保鲜包装研究[J]. 食品科学,2008,29(12):707—711.
- [31] 蔡佑星,何新快,刘奇龙,等. LDPE/SiO₂ 保鲜膜保鲜果蔬[J]. 包装工程,2008,29(7):29—31.
- [32] 张英,白杰,张海峰. 果蔬保鲜机理及其新技术[J]. 宁夏农林科技,2009(3):48—50.
- [33] 周筱玲,廖亮,邓辉胜,等. 柿果综合保鲜技术研究[J]. 北方园艺,2009(5):225—227.

(上接第 75 页)

参考文献:

- [1] 祁红志,施昱,彭以虎. 自动真空吸塑成型机的研发[J]. 机械设计与制造,2009(12):147—148.
- [2] 耿明海,郑银芳. 一款柔性全自动吸塑成型机的研制[J]. 包装工程,2009,30(12):56—58.
- [3] 于晓莉,张郎红,董节芬. PVC 制品成型加工的真空吸塑机的研发[J]. 汽车科技,2004(6):34—36.
- [4] 王春雨,张广文. 基于 PLC 的气动冲切机的设计[J]. 液压与气动,2007(5):25—27.
- [5] 王奎民,刘建锋,袁赣南. 冲切模具 CAD 三维标准件库的开发与应用[J]. 哈尔滨理工大学学报,2006(4):115—118.
- [6] 赖健. 对真空吸塑深拉杯的研究[J]. 包装世界,2008(2):33—34.
- [7] 张德海,马战胜,陈慧芳,等. 一种单工位真空成型吸塑机的设计[J]. 研究机械制造,2008(9):10—14.
- [8] 鲍际辉,孟先锋,蒋山. 大型全自动双工位吸塑机设计[J]. 橡塑技术与装备,2007(3):38—43.

(上接第 106 页)

参考文献:

- [1] 刘春林,张逸新. 基于模型的半色调算法[J]. 包装工程,2007,28(7):65—67.
- [2] EMMEL P, HERSCH R D. Exploring Ink Spreading[C]. IS&T/SID Color Imaging Conference,2000:355—341.
- [3] JANG Woon-young, JAN P. Characterization of Printer MTF[J]. IS&T,2006,50(3):264.
- [4] YANG Ly,KRUSE B. Ink penetration and Its Effects on Printing[C]. SPIE,USA,2000.
- [5] 叶玉芬,郭宝龙. 基于视觉差的误差扩散半色调算法[J]. 计算机工程,2006,16(2):195—197.
- [6] LI Ping-shan, ALLEBACH J P. Tone Dependent Error Diffusion:U. S,us6563957 B1[P].
- [7] LI Yang. A Unified Model of Optical and Physical Dot Gain in Print Color Reproduction[J]. IS&T,2004,48:347—353.
- [8] 白春燕. 喷墨印刷中的网点面积率预测及网点扩大研究[D]. 无锡:江南大学,2009.
- [9] EMMEL P,R D HERSCH. A Model for Colour Prediction of Halftoned Samples Incorporating Light Scattering and Ink Spreading[C]. IS&T/SID 7th Color Imaging Conference,2007:173—181.