

# 可变墨滴喷墨打印印刷品的光谱预测模型

邢卫永, 张逸新

(江南大学, 无锡 214122)

**摘要:** 在喷墨打印机喷出墨滴大小可变时, 以 Clapper-Yule 模型为基础, 研究了可变墨滴喷墨打印印刷品的反射率预测模型。首先引入了墨滴大小变化和 Clapper-Yule 模型的调频加网形式; 然后, 用墨滴变化引起的墨层厚度变化和调频网点大小的变化扩展 Clapper-Yule 模型; 最后, 建立了墨滴大小扩展的 Clapper-Yule 模型, 并通过模拟实验验证了模型的优越性。

**关键词:** 喷墨打印; Clapper-Yule 模型; 网点扩大; 油墨变化量; 墨滴大小可变; 反射光谱预测; 调频加网

**中图分类号:** TS853+.5; TS801 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)11-0072-04

## Spectral Prediction Model for Variable Dot-Size Ink Jet Presswork

XING Wei-yong, ZHANG Yi-xin

(Southern Yangtze University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Reflectance prediction model for variable dot-size ink jet presswork was studied based on Clapper-Yule model. At first, variable drop size and the FM screening form of Clapper-Yule model were introduced; then, Clapper-Yule model was extended using the change of ink film thickness and FM screening dot, which were caused by drop change; at last, the extended Clapper-Yule model with ink drop size was established. The advantage of the model was validated with simulation.

**Key words:** ink jet printing; Clapper-Yule model; dot gain; ink variation level; variable dot-size; prediction of spectral reflectance; FM screening

随着打印机每英寸内打印的墨点数量越来越高, 墨滴越来越小, 不可避免地会造成一些负面影响。例如, 为了形成某种特定的色彩, 以前在单位面积可能只需要打印一个大墨滴, 而现在则需要喷上好几个小墨滴才能满足密度要求。为了消除这些不利因素, 许多打印机可以提供几种不同大小的墨点。例如爱普生彩色喷墨打印机采用的“智能墨滴变换技术”和惠普的“双墨滴打印技术”。

经典色彩预测模型<sup>[2]</sup>不能很好地预测此类印刷品的反射率。根据 Clapper-Yule 模型<sup>[2-9, 12]</sup>, Roger D. Hersch 等人提出了分程式的 Clapper-Yule 模型<sup>[2]</sup>, 然后有用油墨厚度扩展的分程式的 Clapper-Yule 模型<sup>[7, 12]</sup>。Roger D. Hersch 在研究中发现, Clapper-Yule 模型在打印墨滴较小时的预测精度更高, 而可变墨滴技术正是在墨滴较小时采用的一种优化手段, 因此, 可采用 Clapper-Yule 模型分析可变墨

点调频加网印刷品的反射率。

笔者根据已有的研究成果, 推导可变墨点调频加网的光谱反射率预测模型。假设喷墨打印机喷出的墨滴是标准的球体, 在纸张上形成的调频网点的半径与球体的半径相同, 并且形成的网点是标准的圆柱体, 这样可根据墨滴大小的变化修正 Clapper-Yule 模型。

## 1 喷墨打印墨滴可变技术

喷墨打印机的墨滴可变技术主要有爱普生的“智能墨滴变换技术”和惠普的“双墨滴打印技术”。智能墨滴变换技术是根据图像分辨率的高低和色彩区域的不同, 自动变换 3 组共 9 种不同尺寸的墨滴, 见图 1, 使墨滴在每一颜色区域, 都能实现最佳配置, 特别是在浓度高的部分采用了大墨滴打印, 从而加快打印速度, 进一步提高工作效率。当分辨率为  $1\ 140 \times$

收稿日期: 2011-04-06

作者简介: 邢卫永(1987-), 男, 山东菏泽人, 江南大学硕士生, 主攻印刷工程技术和印刷品色彩预测模型。

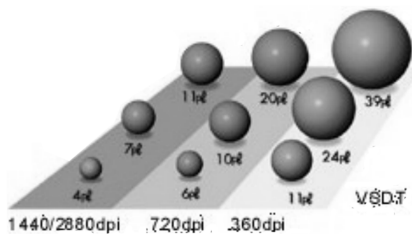


图1 不同墨滴组合

Fig. 1 Combination of different droplet

2 880时,除了  $4 \times 10^{-12}$  L 的微小墨滴外,还可以采用  $7 \times 10^{-12}$  L 和  $11 \times 10^{-12}$  L 的墨滴,尽管墨滴较大,但是打印分辨率仍然不变。

双墨滴打印技术是用特制的染料型彩色墨水,以 2 种不同的墨滴量将墨水喷在纸上。最小墨滴量为  $1.3 \times 10^{-12}$  L,最大墨滴量为  $5 \times 10^{-12}$  L。采用双墨滴技术,打印机可以将任意组合的大小墨滴喷在既定的打印位置。打印机将决定墨滴的大小组合,以便实现最佳的打印质量和打印速度。

## 2 单色的经典 Clapper-Yule 模型

单位面积内,如果网点覆盖率为  $a$ ,空白部分为  $1-a$ ,光在该单位面积的反射见图 2。

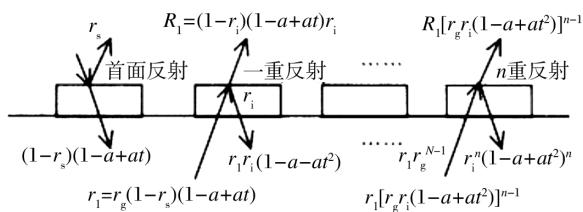


图2 Clapper-Yule 模型中光的多重内反射

Fig. 2 The multiple internal reflection processes of Clapper-Yule model

总反射率  $R$  等于首次反射光  $r_s$  多次出射光  $R_1$  到  $R_n$  的和,当  $n$  趋近于无穷大时,得到经典的 Clapper-Yule 方程是:

$$R = Kr_s + \frac{(1-r_s)r_g(1-r_i)(1-a+at)^2}{1-r_g r_i(1-a+at^2)} \quad (1)$$

式中: $K$  表示发生镜面反射的光进入分光光度计的部分所占的比例; $r_s$  表示镜面反射光; $r_g$  表示纸基的反射率; $r_i$  表示印刷品——空气界面的内部反射率; $a$  是网点覆盖率; $t$  是墨层的透射率。

## 3 改进的分程式三色 Clapper-Yule 模型

在现实情况中,特定颜色墨层的反射率总是大于它的表面覆盖率。针对这一情况,假定入射光中有  $b$  部分经过它入射进去的颜色并从该颜色中反射出来(短程出射)。这部分光  $b$  可以用 Saunderson 修正的 Neugebauer 模型<sup>[11]</sup>进行预测。入射光中经过长程或中程出射(经过一次或多次内反射)的  $(1-b)$  部分,用经典的 Clapper-Yule 模型进行预测。最终得到 Clapper-Yule 扩展模型<sup>[1,3]</sup>:

$$R(\lambda) = Kr_s + (1-r_s)r_g(1-r_i) \cdot$$

$$\left[ b \sum_{j=1}^8 \frac{a_j t_j^2}{1-r_g r_i t_j^2} + (1-b) \frac{\left( \sum_{j=1}^8 a_j t_j \right)^2}{1-r_i r_g \sum_{j=1}^8 a_j t_j^2} \right] \quad (2)$$

该方程是三色油墨叠印的方程。

## 4 Clapper-Yule 模型的调频形式

单色的 Clapper-Yule 模型的调频形式,面积  $A_u$  内有多个随机分布的调频网点,网点的大小  $a$  是相同的。设单位面积  $A_u$  内调频网点的数密度  $\sigma$ ,则单位面积内调频网点所占的总面积为  $a\sigma$ 。对于喷墨打印机打印的印刷品,可以根据打印机的分辨率,选择一组由像素点组成的阵列,并将阵列所占的面积计作面积  $A_u$ 。

如果面积  $A_u$  内调频网点的大小为  $a$ ,数密度是  $\sigma$ ,空白部分的面积是  $A_u - a\sigma$ ,则半色调调频加网的经典的 Clapper-Yule 方程是:

$$R = Kr_s + \frac{(1-r_s)r_g(1-r_i)(A_u - a\sigma + \sigma at)^2}{1-r_g r_i(A_u - a\sigma + \sigma at^2)} \quad (3)$$

采用三色油墨打印时,如果三原色油墨的调频网点大小分别是  $a_c$ (青), $a_m$ (品红), $a_y$ (黄),调频网点的数密度分别为  $\sigma_c, \sigma_m, \sigma_y$ ,根据 Neugebauer 方程,三原色叠印产生的 8 种颜色: $A_c$ (青), $A_m$ (品红), $A_y$ (黄), $A_r$ (红), $A_g$ (绿), $A_b$ (蓝), $A_k$ (黑), $A_w$ (白)的面积  $A_u$  所占的面积是:

$$A_c = A_u \frac{a_c \sigma_c}{A_u} \left( 1 - \frac{a_m \sigma_m}{A_u} \right) \left( 1 - \frac{a_y \sigma_y}{A_u} \right) \quad (4)$$

整理得到

$$A_c = a_c \sigma_c (A_u - a_m \sigma_m) (A_u - a_y \sigma_y) / A_u^2 \quad (5)$$

同理可得其余颜色的面积是:

$$\begin{aligned}
 A_m &= a_m \sigma_m (A_u - a_c \sigma_c) (A_u - a_y \sigma_y) / A_u^2 \\
 A_y &= a_y \sigma_y (A_u - a_m \sigma_m) (A_u - a_c \sigma_c) / A_u^2 \\
 A_r &= (A_u - a_c \sigma_c) a_m \sigma_m a_y \sigma_y / A_u^2 \\
 A_g &= a_c \sigma_c (A_u - a_m \sigma_m) a_y \sigma_y / A_u^2 \\
 A_b &= a_c \sigma_c a_m \sigma_m (A_u - a_y \sigma_y) / A_u^2 \\
 A_k &= a_c \sigma_c a_m \sigma_m a_y \sigma_y / A_u^2 \\
 A_w &= (A_u - a_y \sigma_y) (A_u - a_m \sigma_m) (a_u - a_c \sigma_c) / A_u^2
 \end{aligned} \quad (6)$$

已知墨滴的体积  $V$ , 假设标准球体的墨滴在纸张上形成的调频网点的半径与墨滴的半径相同, 网点是标准圆柱体, 根据球和圆柱体公式:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = d \pi r^2 \quad (7)$$

式中:  $r$  是网点的半径;  $d$  是网点的厚度。网点的面积  $a$  是:

$$a = \pi r^2 \quad (8)$$

根据式(7)、(8)油墨厚度  $d$  为:

$$d = V/a \quad (9)$$

由比尔定律可得:

$$t(\lambda) = \exp[-\xi k(\lambda)] = \exp[-\xi \frac{V}{a} k(\lambda)] \quad (10)$$

式中:  $\xi$  是油墨颜料的浓度;  $d$  是它的厚度;  $k$  是它的光谱吸收系数;  $V$  是墨滴的体积;  $a$  是单个调频网点的实际面积。将墨滴的体积和调频网点的面积计算得到的透射率记作  $t'$ 。

当油墨叠印时, 叠印色的透射率等于组成叠印色油墨的透射率的乘积, 所以叠印色的透射率公式是:

$$\begin{aligned}
 t_{AB}' &= t_A' t_B' = \exp[-(\xi_{A_A} \frac{V_A}{a_A} k_A(\lambda) + \xi_{B_B} \frac{V_B}{a_B} k_B(\lambda))] \\
 t_{ABC}' &= t_A' t_B' t_C' = \exp[-(\xi_{A_A} \frac{V_A}{a_A} k_A(\lambda) + \xi_{B_B} \frac{V_B}{a_B} k_B(\lambda) + \xi_{C_C} \frac{V_C}{a_C} k_C(\lambda))]
 \end{aligned} \quad (11)$$

根据上面的分析, 在已知三原色油墨的墨滴大小和形成调频网点的实际面积以及调频网点的数密度, 就可以根据式(5)和(6)算出每种颜色的覆盖率, 根据公式(9)–(11), 可以得到每种颜色的透射率, 将计算得出的调频网点总覆盖率和根据墨滴大小调整的颜色透射率代入式, 就可以得到可变墨滴调频网点的反射率预测模型。

## 5 预测可变墨滴调频网点的光谱反射率

为了检验模型的准确性, 用 MATLAB 模拟单色油墨智能墨滴变换技术, 当采用智能墨滴变换技术的喷墨打印机采用最大分辨率时, 则墨滴大小可以是  $4 \times 10^{12}$ ,  $7 \times 10^{12}$ ,  $11 \times 10^{12}$  L。设油墨的颜料密度为

1, 对可见光的总吸收率是 0.4, 纸张的表面总反射率是 0.85, 镜面反射光是 0.15, 印刷品—空气界面的内部反射率是 0.54。将数据和上文中的公式输入 MATLAB, 就可以得到该油墨的透射率和网点的反射率。根据 MATLAB 的输出数据和图形, 就可以分析墨滴大小变化对网点透射率的影响, 以及在调频网点所在面积率不变时, 墨滴大小对反射率的影响。

模拟单色油墨墨滴大小变化时, 透射率和反射率的变化情况见图 3, 4。墨滴大小、油墨的颜料浓度和

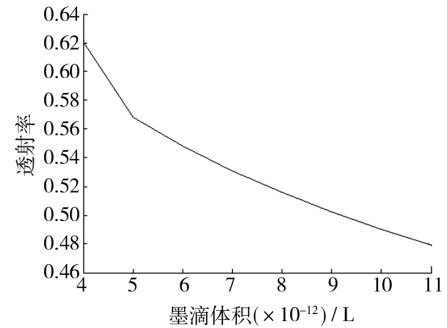


图 3 墨滴大小与透射率之间的关系

Fig. 3 The relationship between drop size and transmittance

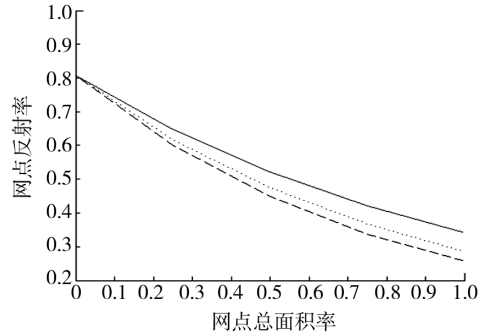


图 4 墨滴大小变化对反射率的影响

Fig. 4 The influence of drop size changing on reflectivity

光谱吸收率, 可以根据油墨和纸张的不同测量得到。当墨滴的大小改变时, 通过式(10)得到不同墨滴调频网点的透射率, 见图 3。然后根据不同墨滴调频网点的透射率和调频网点的面积率, 就可以得到网点的反射率, 见图 4。在图 4 中实线曲线是墨滴大小为  $4 \times 10^{12}$  L 时得到的网点反射率; 点线曲线是墨滴大小为  $7 \times 10^{12}$  L 时得到的网点反射率; 虚线曲线是墨滴大小为  $11 \times 10^{12}$  L 时的得到网点反射率。

从图 3 可以看出, 随着墨滴的增大, 网点透射率先是明显下降, 然后趋于平缓。由此可见, 随着喷墨打印机分辨率越来越高, 墨滴越来越小, 通过墨滴大

小调整网点的透射率是十分必要的,这样可以增加预测的准确性。如果不根据墨滴大小调整网点的透射率,则需要给出网点透射率的固定数值,不妨设网点的透射率为墨滴大小为  $7 \times 10^{12}$  L 时的透射率,则无论采用哪个墨滴尺寸,反射率预测曲线始终是图 4 中的点线曲线。现在,模型根据墨滴大小的变化修正网点的透射率,得到较大墨滴网点和较小墨滴网点的反射率(图 4 中的虚线曲线和实线曲线),提高了较大墨滴网点和较小墨滴网点反射率预测的准确性。

模拟实验说明了根据墨滴大小变化修正网点透射率的必要性。根据油墨叠印时的透射率计算式(11),在已知三原色油墨的墨滴体积、油墨的颜料浓度和光谱吸收率的情况下,就可以修正可变墨滴三色打印各种叠印色的透射率,从而提高反射率预测的准确性。

在实际打印时,可变墨滴喷墨打印机可以根据色彩区域的不同调整每种颜色油墨的墨滴大小。墨滴大小扩展的 Clapper-Yule 模型从调频网点透射率变化和单个网点大小变化 2 个方面对模型进行了修正,这一修正方法把握住了墨滴大小变化对调频网点的影响,比 Roger D. Hersch 提出的油墨厚度扩展的 Clapper-Yule 模型更全面,因此,墨滴大小扩展的 Clapper-Yule 模型能很好地预测可变墨滴喷墨打印印刷品的光谱反射率。

## 6 结论

与传统打印机相比,可变墨滴打印机可以通过墨滴大小的变化实现更多的色调,因此可变墨滴打印印刷品色调变化的连续性有了较大的提高,与此同时,也给此类印刷品网点反射率的预测带来了麻烦。根据墨滴大小变化引起的调频网点透射率变化和网点大小变化,用墨滴大小扩展分程式 Clapper-Yule 模型,得到了可变墨滴喷墨打印印刷品的光谱预测模型,这一模型的建立有助于探索出如何用墨滴大小可

变的打印机得到更高质量的印刷品。

### 参考文献:

- [1] 胡成发. 印刷色彩与色度学[M]. 北京:印刷工业出版社, 1993.
- [2] 臧冬娟,张逸新,刘春林. Clapper-Yule 光谱预测模型[J]. 包装工程,2007,28(4):51-53.
- [3] 杜艳君,张逸新. 经典彩色预测模型[J]. 包装工程,2006, 27(2):99-101.
- [4] 景翠宁,张二虎. 基于 Clapper-Yule 模型的半色调印品颜色预测[J]. 包装工程,2008,29(7):75-77.
- [5] 张逸新,臧冬娟,葛惊寰. 半色调双面图像的 Clapper-Yule 色彩预测分程模型[J]. 光学学报,2008(1):2124-2127.
- [6] 张逸新,易丽芳. 荧光基半色调彩色图像的 Clapper-Yule 光学反射率[J]. 光子学报,2007(12):2386-2389.
- [7] ROUSSELLE F,BUGNON T,HERSCH R D. Spectral Prediction Model for Variable Dot-size Printers[C]. Color Imaging Conference,2008:73-78.
- [8] HERSCH R D,EMMEL P,COLLAUD F,et al. Spectral Reflection and Dot Surface Prediction Models for Color Halftone Prints[J]. Journal of Electronic Imaging,2005, 14(3):1-12.
- [9] HERSCH R D,COLLAUD F,CRÉTÉ F,et al. Spectral Prediction and Dot Surface Estimation Models for Halftone Prints[J]. SPIE,2003,5293:356.
- [10] HERSCH R D,CRÉTÉ F. Improving the Yule-Nielsen Modified Spectral Neugebauer Model by Dot Surface Coverages Depending on the Ink Superposition Conditions[J]. SPIE,2005,5667:434-447.
- [11] BALASUBRAMANIAN R. Optimization of the Spectral Neugebauer Model for Printer characterization[J]. Journal of Electronic Imaging,1999,8(2):156-166.
- [12] HERSCH R D,BRICHON M,BUGNON T,et al. Deducing Ink Thickness Variations by a Spectral Prediction Model[J]. Color Research and Applications,2009, 34(6):432-442.

(上接第 47 页)

- [5] 袁玮. 正交试验设计法研究弹药密封包装内部湿度变化规律[J]. 包装工程,2007,28(2):50-51.
- [6] 张力,田春雷. 弹药塑料包装透湿机理与应用研究[J]. 军械工程学院学报,2006,18(3):8-10.
- [7] 安振涛,胡君威,巩永校,等. 弹药密封包装内部湿度变

化规律测试研究[J]. 包装工程,1994,15(1):20-21.

- [8] 陈晓丽,周顺期. 密封包装容器内湿度变化规律研究[J]. 包装工程,2004,25(6):21-23.
- [9] 刘恒春,刘志阳,丁军. 弹药密封包装内部湿度变化规律探讨[J]. 火炸药学报,1995(3):19-22.