

基于油墨不同叠印的二阶调频网物理网点扩大的研究

席世锐, 张逸新

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 建立了二阶调频网点构成的半色调图像光谱预测模型。考虑油墨在不同叠印条件下由于油墨铺展引起的物理网点扩大, 采用 Yule-Nielsen 修正的光谱聂格伯尔模型对打印的二阶调频网点图像的光谱进行预测, 然后计算色度值, 并与测量值进行比较。实验结果表明, 考虑油墨在不同叠印条件下的铺展的 EYNSN 模型预测的平均和最大色差分别为 2.64 和 6.21, 与未考虑油墨铺展的预测结果相比, 预测精度有所提高。

关键词: 叠印; 调频网点; 物理网点扩大; 油墨铺展; Yule-Nielsen 修正光谱聂格伯尔模型(YNSN)

中图分类号: TS802.3; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)05-0093-05

Study of Physical Dot Gain of Second Order FM Halftone Based on Ink Superposition Conditions

XI Shi-kun, ZHANG Yi-xin

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: A new spectral prediction model for second order FM halftone prints was developed. Taking into account physical dot gain caused by ink spreading in different ink superposition, we first used YNSN model to predict spectrum of the target composed of second order FM halftone, then calculated color values, last compared color values with the measured values. The experimental result showed that the mean and max ΔE difference between measured values and the values predicted by the new model taken into account ink spreading are 2.46 and 5.86. In contrast with to the color difference predicted by the model not taken into account ink spreading, the new spectral prediction model for second order FM halftone prints has better prediction accuracy.

Key words: ink superposition; FM halftone; physical dot gain; ink spreading; YNSN model

网点是色彩复制的基本单元,在印刷中传递原稿的色彩和阶调。根据加网方式的不同,网点主要分为调幅网点和调频网点。生产实践中,调频网点相比调幅网点有很多优势,例如对图像的细节再现能力强,印刷色彩较为鲜艳,解决了“龟纹”问题。但调频网点的网点扩大现象较调幅网点更为严重。

针对网点扩大的问题,国内外的一些学者进行了相关的研究。华南理工大学的陈广学^[1]利用最小二乘法拟合多项式的方法建立了调频和调幅 2 种不同加网方式的网点扩大曲线,给出了网点扩大的校正方法;西安理工大学的周世生教授^[2]引入 Murray-Davies 的光谱反射率与网点面积率关系方程,利用最小二乘法求解调频网点的有效面积率,得到了调频网点的扩大规律与实际调频网点扩大规律一致的结论;江

南大学的白春燕^[3]通过在有 Murray-Davies 网点面积率预测模型中直接引入反映光被吸收的透射因子建立 Murray-Davies 网点面积率预测新模型,顾小萍^[4]对喷墨印刷中油墨的渗透和铺展进行了分析,对喷墨印刷的网点扩大进行了研究。国外对此研究较多的是瑞士的 R. D. Hersch^[5],他推导了油墨的铺展方程,进一步优化了 Yule-Nielsen 修正的光谱聂格伯尔模型(YNSN)。

以考虑油墨铺展的 YNSN 模型为基础,实验分析二阶调频网物理网点扩大对颜色复制的影响。

1 NSN 模型与 EYNSN 模型

半色调图像的光谱反射率由于受到空气和纸张

收稿日期: 2011-10-11

作者简介: 席世锐(1985—),男,河南信阳人,江南大学硕士生,主攻印刷色彩管理。

接触面的表面反射、光在油墨或者纸基内的散射和反射,一般会发生下降,上述现象被称为光学网点扩大,也称为 Yule-Nielsen 效应^[6]。此外,在印刷过程中实际转移到承印物上的网点有效面积往往会比理论上的网点面积要大,产生了物理网点扩大。物理网点扩大的多少取决于油墨、纸张以及油墨叠印情况,例如多色半色调印刷。光学网点扩大和物理网点扩大都会对半色调图像的光谱反射率产生较大的影响,使得预测印品色彩与原稿色彩产生较大偏差,为此必须对网点扩大进行修正以保证复制品颜色与原稿颜色相一致。

1.1 Yule-Nielsen 修正的光谱聂格伯尔模型(YNSN)

考虑到纸张和油墨之间复杂的非线性的相互作用,Yule 和 Nielsen 引入经验常数修正常数 n ,修正 Neugebauer 模型得到下列 Yule-Nielsen 光谱聂格伯尔模型(YNSN)^[5]:

$$R(\lambda) = \left[\sum_i a_i R_i(\lambda)^{\frac{1}{n}} \right]^n \quad (1)$$

式中: a_i 为第 i 种基色的贡献率,可由 Demichel 方程确定; $R_i(\lambda)$ 为第 i 种基色的光谱反射率由实验测量确定; $R(\lambda)$ 为半色调图像的光谱反射率; n 为经验常数由实验数据拟合得出。

1.2 不同叠印条件下油墨铺展的 Yule-Nielsen 修正的光谱聂格伯尔模型(EYNSN)

Yule-Nielsen 修正的光谱聂格伯尔模型(YNSN)中各基色的面积率是三色网点在转移到承印物后网点大小不变的理想状态下计算得到的。但是研究表明^[5-7]无论采用何种印刷工艺,油墨以网点的形式转移到承印物上,总是会在承印物上发生渗透和铺展,使网点大小发生变化。所以,要利用油墨铺展方程计算多色油墨叠印时各色的有效网点面积率,这里用油墨铺展曲线表示实际有效网点面积率与理论网点面积率的关系,这些曲线反映了油墨直接印在纸张上或者其他实地油墨上时的油墨叠合差异。

采用文献[5]的讨论,设每种油墨不同叠印条件下的铺展曲线分别为: f_1 表示油墨 1 直接印在纸张上的铺展曲线函数; $f_{1/2}$ 表示油墨 1 印在油墨 2 实地上的铺展曲线函数; $f_{1/23}$ 表示油墨 1 印在油墨 2 和油墨 3 实地上的铺展曲线函数。

用 c, m, y 表示三色油墨的单色理论网点面积率, c', m', y' 表示转移到纸张后单色有效网点面积率,采用铺展曲线修正后的三色油墨的单色网点百分

比,即油墨铺展方程^[5]为:

$$\begin{aligned} c' &= (1-m')(1-y')f_c(c) + m'(1-y')f_{c/m}(c) + \\ & (1-m')y'f_{c/y}(c) + m'y'f_{c/my}(c) \\ m' &= (1-c')(1-y')f_m(m) + c'(1-y')f_{m/c}(m) + \\ & (1-c')y'f_{m/y}(m) + c'y'f_{m/cy}(m) \\ y' &= (1-m')(1-c')f_y(y) + c'(1-m')f_{y/c}(y) + \\ & (1-c')m'f_{y/m}(y) + c'm'f_{y/cm}(y) \end{aligned} \quad (2)$$

c', m', y' 中第 1 项表示印在白纸上的油墨的网点百分比,第 2 项和第 3 项分别表示印有一层实地的单层半色调油墨的网点百分比,第 4 项表示印有 2 层实地的单层半色调油墨的网点百分比。油墨铺展方程可使用迭代法求解,即先将三色网点的初始值 c, m, y 赋给 c', m', y' ,代入方程进行第 1 次迭代,把得到的结果作为第 2 次迭代的输入值,类推下去,当进行 4~5 次迭代后逐渐趋于稳定,此时得到的 c', m', y' 值就是最后实际的三色网点的有效网点面积。

根据油墨铺展理论,在实验中模拟油墨不同的叠印条件,通过计算得到油墨在不同叠印条件下的铺展曲线,再根据油墨的铺展曲线将理论网点面积率转化为实际的有效网点面积率,最后把有效网点面积率代入 Yule-Nielsen 修正的光谱聂格伯尔模型中,就得到了 EYNSN 模型。该模型的计算过程见图 1。

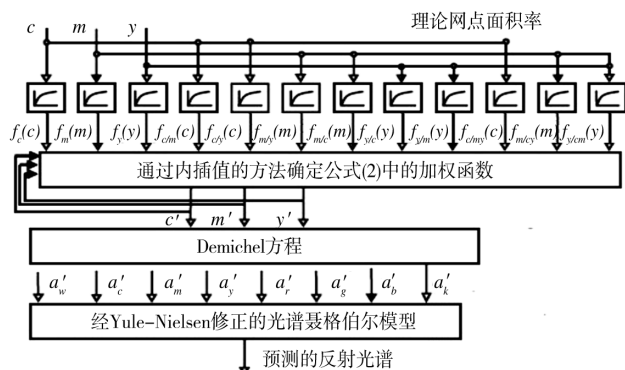


图 1 各种叠印条件下的光谱计算模型

Fig. 1 Spectral prediction model in various superposition conditions

1.2.1 二阶调频网点光谱反射率

二阶调频网^[8]是调频网的一种,是针对一阶调频网的缺陷而产生的。对于二阶调频网点来说,不仅网点随机分布而且单个网点的大小也可以改变,即点子距离与单个网点大小均可随机变化。其在网点扩大量、控制可传递最小网点面积率、中间调的粗糙感相比一阶调频网都有改善。

由于二阶调频网点的网点位置随机分布和单个网点大小可以变化,在三色叠印过程中暗调区域必然有一部分的墨点会发生叠合。在叠合的过程中,墨点随机分布,但由于单个墨点的大小不同,有一部分的墨点叠合时会以点对点的形式叠合,这符合点对点加网模型,未进行点对点叠合的墨点则随机分布,符合 Demichel 模型。因此可以近似将二阶调频网点看成点对点加网网点和随机加网网点的结合,于是二阶调频网点的光谱反射率可以用式(3)^[9]表示:

$$R(\lambda)=(1-\varphi)R_{\text{dod}}(\lambda)+\varphi R_{\text{dem}}(\lambda) \tag{3}$$

式中: $R_{\text{dod}}(\lambda)$ 和 $R_{\text{dem}}(\lambda)$ 分别为点对点模型和 Demichel 模型预测的光谱反射率; φ 为 2 种混合模型的相对比例,实际印刷中可以通过一些测量数据得到^[9]。当 $\varphi=1$ 时即为随机混合的 Demichel 模型,当 $\varphi=0$ 时为点对点模型。

1.2.2 随机加网各基色的贡献率

随机加网产生的基色贡献率可采用 Demichel 模型计算。

三色油墨叠印则产生青色、品红色、黄色、红色、绿色、蓝色、黑色和白色共 8 种基色。设三原色油墨的网点面积率由油墨铺展方程计算,即为 c', m', y' ,各基色的贡献率分别为 $a_c, a_m, a_y, a_r, a_g, a_b, a_w, a_k$,则考虑网点扩散后的 Demichel 模型可以表示为:

$$a_c=(1-m')(1-y')c', a_m=(1-c')(1-y')m'$$
$$a_y=(1-m')(1-c')y', a_r=(1-c')y'm'$$

表 1 各种油墨网点面积率下各基色的贡献率

Tab.1 Contribution rate of primary colors under different colorant area coverage

基色面积率	$c' \leq m' \leq y'$	$c' \leq y' \leq m'$	$m' \leq c' \leq y'$	$m' \leq y' \leq c'$	$y' \leq c' \leq m'$	$y' \leq m' \leq c'$
a_w	$(1-y')$	$(1-m')$	$(1-y')$	$(1-c')$	$(1-m')$	$(1-c')$
a_c	0	0	0	$(c'-y')$	0	$(c-m')$
a_m	0	$(m'-y')$	0	0	$(m-c)$	0
a_y	$(y'-m')$	0	$(y'-c')$	0	0	0
a_r	$(m'-c')$	$(y'-c')$	0	0	0	0
a_g	0	0	$(c'-m')$	$(y'-m')$	0	0
a_b	0	0	0	0	$(c'-y)'$	$(m'-y')$
a_k	c'	c'	m'	m'	y'	y'

综上所述,结合油墨的铺展方程,就可以把理论网点面积率转化为实际有效网点面积率,通过随机加网和点对点加网的混合模型来进一步讨论由三色油墨在不同叠印下的铺展引起的物理网点扩大对二阶调频网印刷品的色彩的影响。

$$a_g=(1-m')y'c', a_b=(1-y')c'm'$$
$$a_w=(1-m')(1-y')(1-c'), a_k=m'y'c' \tag{4}$$

当知道三色网点的面积率后就,可以利用式(4)计算各色网点叠印后形成的 8 个基色贡献率的大小了。

1.2.3 点对点加网的基色贡献率

在点对点的加网模型中,假定每一个网点都准确的叠印在其他的网点之上。以 CMY 三色打印为例,假设油墨实际网点面积率的关系是 $c' \leq m' \leq y'$,则相应各基色见图 2。可知各基色的贡献率分别是 a_k 为 c', a_r 为 $(m'-c'), a_y$ 为 $(y'-m'), a_w$ 为 $(1-y')$ 。

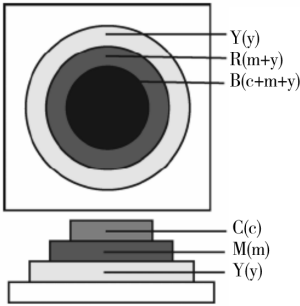


图 2 黄、品红、青三色点对点加网模型
Fig. 2 Model of dot-on-dot printed cyan, magenta, and yellow dots

点对点模型中,对于不同网点面积率的三色油墨相互叠印,一共有 6 种叠印情况,见表 1。

2 实验与分析

2.1 设备、材料及步骤

1) 用 CoreDRAW 制作测试色靶见图 3。左侧为

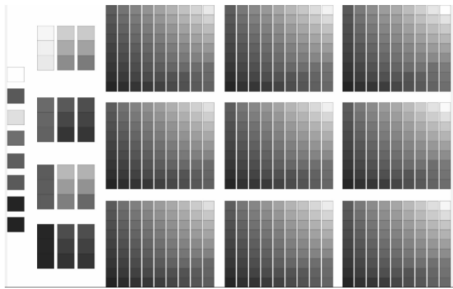


图 3 测试色靶
Fig. 3 Color testing target

8 个基色块,中间 36 色块为一色油墨分别以 25%, 50%, 75% 面积率印在纸张、另一色实地、另外两色实地构成,右侧 729 色块由三色以 0, 12. 5%, 25%, 37%, 50%, 62%, 75%, 87%, 100% 网点面积率相互叠印构成。

2) 在爱普生 R230 彩色喷墨打印机上使用原装墨水在樱花 A4 高光相纸上打印测试色靶(打印机在打印前先进行设备特征化,以降低打印误差)。

3) 打印出的测试色靶使用爱色丽 530 光度计在 D65 光源 10° 视场测量。分别测量测出 8 个基色的光谱反射率和 36 个色块的光谱反射率及 729 色块的 Lab 色度值。

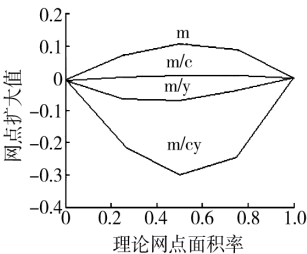
4) 分别使用 Demichel 模型、点对点模型以及二者混合模型在未考虑油墨铺展和考虑油墨铺展的情况下预测 729 个色块的色度值。

5) 将通过模型预测的色块色度值分别与测量的色度值比较,使用 CIE 1976 Lab 色差公式计算色差。

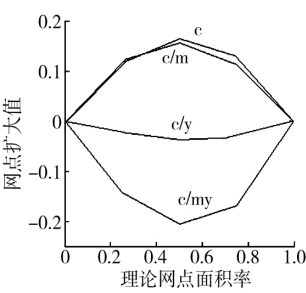
2.2 结果与讨论

实验中得到的品红、青、黄油墨在不同叠印条件下的网点扩大曲线见图 4。

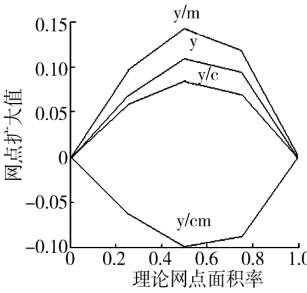
从图中可知,油墨单独印在纸张上由于铺展均存在网点扩大,品红油墨和黄墨的网点扩大最大为 10% 左右,青色油墨为 15% 左右;一色油墨叠印在另



a M 油墨不同叠印下的网点扩大



b C 油墨不同叠印下的网点扩大



c Y 油墨不同叠印下的网点扩大

图 4 三色油墨不同叠印条件下的网点扩大曲线

Fig. 4 Dot-gain curves in different superposition conditions for CMY prints

一色油墨的实地上时,品红油墨和青色油墨叠印在黄色油墨上,网点扩大最大值约为 -5%,品红油墨叠印在青色油墨时,网点几乎没有扩大,青色油墨和黄色油墨叠印在品红油墨上,网点扩大基本相同,大约为 15%,黄色油墨叠印在青色油墨上,网点最大扩大约为 8%;一色油墨叠另两色油墨实地上时,规律基本相同,都呈现出网点负扩大,其中品红色油墨负扩大最大,青色油墨次之,黄色油墨最小。此外,无论油墨处于何种叠印情况,网点扩大的最大值一般在理论网点面积率为 50% 时出现。采用 CIE1976Lab 色差公式表示 YNSN 模型和 EYNSN 模型以及 3 种网点反射率模型预测的 729 个色块的色度值与测量色度值之间的色差,见表 2。其中点对点与 Demichel 混合模型中的权重值 $\varphi=0.9$ 。

表 2 YNSN 模型和 EYNSN 模型预测值与测量值间的色差

Tab.2 Color difference between measured values and predicted values by YNSN and EYNSN

729 个色块色差	n 值	网点模型	平均色差 ΔE_{ab}	最大色差 ΔE_{ab}	最小色差 ΔE_{ab}
YNSN 模型	3.1	点对点模型	7.33	14.04	3.12
	2.5	Demichel 模型	5.67	12.36	2.30
	2.7	点对点与 Demichel 混合模型	5.18	10.52	1.91
EYNSN 模型	3.1	点对点模型	4.31	8.72	1.54
	2.5	Demichel 模型	3.45	6.74	1.95
	2.7	点对点与 Demichel 混合模型	2.64	6.21	1.38

当考虑油墨在不同叠印条件下由于铺展所引起的物理网点扩大时,预测的色度值与实际测量色块的色度值间的平均色差、最大最小色差均比未考虑油墨铺展时预测的色度值和测量值间的色差要小,因此采用 EYNSN 模型对二阶调频网点构成的半色调图像的色彩进行预测,比 YNSN 模型要更合理更准确。

表 2 中不同的 n 值是把油墨单独印刷和叠印条件后的实际网点面积率根据不同的网点模型代入相应的 Yule-Nielsen 光谱聂格伯尔模型中得到基色的光谱反射率,并与实测的光谱反射率比较。当预测光谱反射率与实测光谱反射率的方差最小时即可得到 n 值。

3 结论

考虑油墨在不同的承印条件下由油墨铺展而引起的物理网点扩大,建立了在不同叠印条件下的油墨铺展曲线,把理论网点面积率转化为实际有效网点面积率,使用 EYNSN 模型对二阶调频网点构成的半色调图像的色度值进行预测。实验表明考虑油墨铺展的 EYNSN 模型的预测色度值要比未考虑油墨铺展的 YNSN 模型预测的色度值更接近测量的真实色度值,因此考虑油墨在不同叠印条件下由于铺展引起的物理网点扩大对实际二阶调频网点构成的半色调图像的色彩预测更加准确,具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 陈广学. 印刷图像网点扩大的检测与校正[C]//2008 中国仪器仪表与测控技术进展大会论文集(I), 2008, 29(4): 659—662.
CHEN Guang-xue. The Testing and Correction of Dot Gain on Halftone Image [C]//Chinese Journal of Scientific Instrument, 2008, 29(4): 659—662.
- [2] 周世生, 李举, 孙帮勇, 等. 调频加网有效网点面积率计算研究[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 57—58.

ZHOU Shi-sheng, LI Ju, SUN Bang-yong, et al. Research of Effective Dot Area Transfer Functions with FM Halftoning [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(3): 57—58.

- [3] 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.
BAI Chun-yan. The Dot Coverage Prediction of Inkjet Printing and Dot Gain Study [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [4] 顾小萍. 对喷墨印刷中网点扩大的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
GU Xiao-ping. The Research on Dot Gain in Ink-jet Printing [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006.
- [5] HERSCH R D, EMMEL P, COLLAUD F, et al. Spectral Reflection and Dot Halftone Prints [J]. Journal of Electronic Imaging, 2005, 14(3): 1—12.
- [6] HERSCH R D, CR T F. Improving the Yule-Nielsen Modified Spectral Neugebauer Model by Dot Surface Coverages Depending on the Ink Superposition Conditions [C]//Color Imaging X: Processing, Hardcopy and Applications, SPIE, 2005, 5667: 434—445.
- [7] ROSSIER R, HERSCH R D. Calibrating the Ink Spreading Curves Enhanced Yule-Nielsen Modified Spectral Neugebauer Model with the Two-by-two Dot Centering Printer [C]//IS & T/SPIE Electronic Imaging Symposium, Proc. SPIE Color Imaging XIII: Processing, Hardcopy, and Applications, 2009. (余不详)
- [8] 文卫, 金杨. 一阶及二阶调频加网频谱特性及频率传递分析[J]. 影像科学与光化学, 2009, 27(5): 373—378.
WEN Wei, JIN Yang. Analysis on the Spectral and Frequency-Transform Characteristics of 1st and 2nd Order FM Screening [J]. Imaging Science and Photochemistry, 2009, 27(5): 373—378.
- [9] BALASUBRAMANIAN Raja. A Spectral Neugebauer Model for Dot-on-dot Printers [C]//Proc SPIE, 1995, 2413: 356—364.

(上接第 68 页)

- Properties and Production of Four-ply Corrugated Board [J]. China Packaging Industry, 2009, 4: 66.
- [7] 吕恩琳. 复合材料力学[M]重庆: 重庆大学出版社, 1992.
LV En-lin. Compound Material Mechanics [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1992.
- [8] WANG D M. Energy Absorption Diagrams of Multi-

layer Corrugated Boards[J]. Journal of Wuhan University of Technology-Mater Sci Ed, 2010, 25(1): 58—61.

- [9] JB/T 6544—1993, 塑料拉伸和弯曲弹性模量试验方法[S].
JB/T 6544—1993, Plastic Tensile and Bending Modulus Test Method[S].