

调频网印品图像的微观色彩预测模型研究

史公程, 张逸新, 徐遵燕, 倪文虎

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 在考虑网点扩大的情况下, 研究了基于 Murray-Davies 方程的调频网半色调印品色彩预测模型。分析了调频网印品图像的微观结构和特征, 建立了理想状态下调频网的反射率模型; 考虑到光在纸基中的散射, 采用光散射概率理论构建了墨点与墨点间的局部反射与透射关系; 最后, 建立了基于扩展的 Murray-Davies 方程的调频网半色调图像的微观色彩预测模型。

关键词: 调频加网; Murray-Davies 方程; 网点扩大; 反射与透射; 色彩预测

中图分类号: TS801.3; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)03-0074-03

Research of Microscopic Color Prediction Model of FM Halftone Image

SHI Gong-cheng, ZHANG Yi-xin, XU Zun-yan, NI Wen-hu

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Considering the case of dot gain, a color prediction model of FM halftone printed image based on Murray-Davies equation was studied. The microscopic structure and characteristics of FM halftone image was analyzed and a reflectance model for FM halftone image in ideal state was established. Taking into account the influence of light scattering, the relationship of reflection and transmission partially for dots and vacancy between dots was analyzed using the theory of light scattering. Based on the analysis above, a new prediction model based on expanded Murray-Davies equation for FM halftone printed image on microscopic level was developed.

Key words: FM halftoning; Murray-Davies equation; dot gain; reflection and transmission; color prediction

如何对印刷图像质量进行有效、准确的评估、预测一直是印刷行业的重要研究课题。图像质量主要由色调、色彩复制等宏观特征和图像清晰度、网点大小等微观特征两个方面决定。调频加网图像网点的空间分布具有某种程度的随机性, 它是由随机函数产生的按密度分布的随机网点。每个调频网点的面积相同, 且网点尺度远小于调幅网点。通过改变网点空间分布频率, 来再现印刷品原稿图像上的明暗层次, 因而更能体现原稿的细微变化, 使印刷图像更清晰^[1]。但由于调频网点尺度远小于调幅网点, 其网点扩大现象严重, 影响了图像的再现, 阻碍调频网点在印刷中的广泛应用^[2]。笔者在分析调频网图像微观结构和纸基的光散射效应的基础上, 建立起基于扩展 Murray-Davies 方程的调频网半色调图像的微观色彩预测模型, 可以有效控制调频网点扩大现象, 提高调

频加网图像复制质量, 使调频网在印刷实践中得到更广泛地应用。

1 调频加网半色调图像的反射率模型

1.1 理想状态下调频加网半色调图像的 Murray-Davies 方程反射率模型

现考虑单位面积基元网格(见图 1)有多个随机分布的调频网点, 每个调频网点的面积相同, 网点自身的光学密度一致, 而网点出现的空间频率随图像光学密度而变化。

设单位面积基元网格(任意网格)内调频网点的数密度为 σ , 单个调频网点的面积为 a , 反射率为 r_i , 空白区域的光反射率为 r_p , 则单位面积基元的反射率等于网点区域和空白区域反射率之和, 见图 2。

收稿日期: 2010-10-04

作者简介: 史公程(1986—), 男, 山东潍坊人, 江南大学硕士生, 主攻纸张光学、印刷品图像色彩预测。

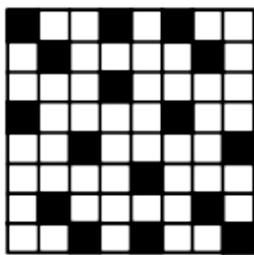


图1 单位面积基元格和调频网点的微观结构

Fig.1 Microscopic structure of FM halftone dots and grids

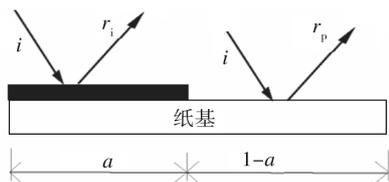


图2 Murray-Davies 方程反射模型

Fig.2 Reflectance model of Murray-Davies equation

$$r = \sigma a r_i + (1 - \sigma a) r_p \quad (1)$$

式(1)是调频网图像任意基元格内的 Murray-Davies 方程理想反射率模型。

该模型本身具有其物理合理性,但还不能用来预测调频网半色调图像的反射率,因为它要求网点墨层是均匀的,且不考虑光在纸基中的散射作用。实际印刷过程中存在光在纸基内散射所形成的网点光学扩大和网点在纸基上的扩展及渗透所形成的网点物理扩大等问题^[3]。因此,需要结合光在纸基中的散射理论对(1)式进行修正。

1.2 调频网半色调图像扩展的 Murray-Davies 方程反射率模型

由于光在纸基中的散射作用,当入射光进入油墨层后,有部分光并不是在同一个区域入射和出射的^[4]。当光从网点间入射时,一部分光从网点间出射,剩余部分从网点处出射;当光从网点处入射时,也有类似的过程,见图3。这就导致半色调印品网点的反射率和空白纸张的反射率均与油墨的网点覆盖率有关,不再是一个常数。

考虑到调频网半色调印刷品着墨部分的反射率 r_i 与空白纸张的反射率 r_p 是随着油墨覆盖率而连续变化的^[3,5],所以假定纸张空白部分的体反射率 r_p 不再是常量而是一个变量。因此总反射率 r 是油墨覆盖率 σa 的函数,则式(1)扩展为:

$$r(\sigma a) = \sigma a r_i(\sigma a) + (1 - \sigma a) r_p(\sigma a) \quad (2)$$

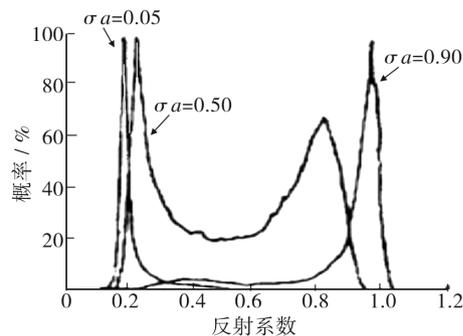


图3 反射概率

Fig.3 reflectance probability

式中 $r(\sigma a)$, $r_i(\sigma a)$ 和 $r_p(\sigma a)$ 分别表示总反射率 r 、着墨部分的反射率 r_i 和空白纸基的反射率 r_p , 是网点覆盖率 σa 的函数。

为了进一步确定 $r_i(\sigma a)$ 和 $r_p(\sigma a)$, 运用光散射理论分析光在调频加网半色调图像中的反射与透射规律。当光入射到油墨层后,部分光的入射和出射区域不同,见图4,为简化研究,做如下假设:

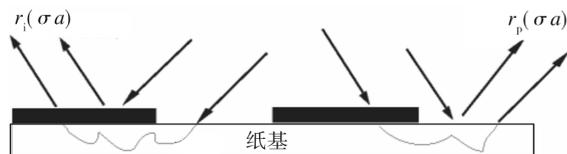


图4 光在半色调图像网点间的散射

Fig.4 Scattering of light between dots in halftone image

当光从网点间入射时,设光子从网点处出射的概率为 p_{01} ,则光子从网点间返回纸面的概率为 $p_{00} = 1 - p_{01}$;当光从网点处入射时,设光子从网点处出射的概率为 p_{11} ,则光子从网点间出射的概率为 $p_{10} = 1 - p_{11}$ ^[6]。

设入射到半色调印品上的光强为 i ,油墨的透射率为 t_i ,纸基的内反射率为 r_g ,则入射到网点和网点间纸张上的光量分别为 $\sigma a i$ 和 $(1 - \sigma a) i$,则入射光 i 分别从网点处和网点间入射、出射的光量见表1。

表1 透过图像层的入射和出射光量

Tab.1 The amount of incident and emitting light through ink layer

出射光子	入射光子	
	网点处	网点间空白纸张处
网点处	$p_{11} i t_i^2 \sigma a r_g$	$p_{01} i t_i (1 - \sigma a) r_g$
网点间空白纸张处	$(1 - p_{11}) i t_i \sigma a r_g$	$(1 - p_{01}) i (1 - \sigma a) r_g$

从网点处出射的光量为:

$$i_1 = p_{11} i t_i^2 \sigma a r_g + p_{01} i t_i (1 - \sigma a) r_g$$

则网点处的反射率为:

$$r_i(\sigma a) = \frac{i_1}{i \sigma a} = t_i r_g \left[t_i p_{11} + \frac{p_{01}(1 - \sigma a)}{\sigma a} \right] \quad (3)$$

从网点间纸张处出射的光量 i_0 为:

$$i_0 = p_{10} i t_i \sigma a r_g + p_{00} i (1 - \sigma a) r_g$$

则对应网点间纸张的反射率为:

$$r_p(\sigma a) = \frac{i_0}{i(1 - \sigma a)} = r_g \left(t_i p_{10} \frac{\sigma a}{1 - \sigma a} + p_{00} \right) \quad (4)$$

式(3)和(4)表示,只要求出概率 p_{01} 和 p_{11} ,就可以计算出反射率 $r_i(\sigma a)$ 和 $r_g(\sigma a)$ 。

综合(2)–(4)式,便得到新的基于 Murray-Davies 方程的调频加网半色调图像的反射率模型:

$$r(\sigma a) = \sigma a t_i r_g \left[p_{11} + \frac{p_{01}(1 - \sigma a)}{\sigma a} \right] + (1 - \sigma a) t_i r_g \cdot \left(p_{10} \frac{\sigma a}{1 - \sigma a} + p_{00} \right) \quad (5)$$

1.3 出射概率的计算

为了计算方便,在此引入光散射概率函数 $p_{ij}^{[7]}$, p_{ij} 表示光子从区域 i 进入印品后又从区域 j 出射的总概率(无论经过多少次基底散射和多重内反射)。当光入射到半色调印刷品图像上时,则根据光子入射和出射区域的不同,光子在印品内的传播路径总体上可以分为 4 种情况,其对应的概率分别为 p_{00} , p_{01} , p_{11} , p_{10} 。光子从网点间入射到印品图像,经过在纸基中的散射和多重内反射后,又从空白区出射的概率为^[8]:

$$p_{00} = \frac{r_p - r_g t_i t_p}{r_g t_p (t_p - t_i)} \quad (6)$$

光子从空白点处入射,从网点处出射的概率为:

$$p_{01} = 1 - p_{00} = 1 - \frac{r_p - r_g t_i t_p}{r_g t_p (t_p - t_i)} = \frac{r_g t_p^2 - r_p}{r_g t_p (t_p - t_i)} \quad (7)$$

上式中 t_p 为空白纸基的透射率,则光子从网点处入射后从网点间出射的概率为:

$$p_{10} = (1 - p_{00}) \frac{1 - \sigma a}{\sigma a} = \frac{r_g t_p^2 - r_p}{r_g t_p (t_p - t_i)} \frac{1 - \sigma a}{\sigma a} \quad (8)$$

光子从网点处入射,又从网点处出射的概率为:

$$p_{11} = 1 - p_{10} = \frac{r_p - r_g t_i}{r_g t_p (t_p - t_i)} \cdot \frac{1 - \sigma a}{\sigma a} \quad (9)$$

将式(6)–(9)代入式(5)并化简,则调频网半色调图像的反射率模型为:

$$r(\sigma a) = \frac{(1 - \sigma a) t_i}{t_p (t_p - t_i)} \cdot$$

$$\left[(t_p^2 - t_i)(r_p - r_g t_i) + (r_g t_p^2 - r_p) \left(\frac{1 - \sigma a}{\sigma a} \right)^2 + (r_p - r_g t_i t_p) \right] \quad (10)$$

$$\text{式(10)中: } r_p = \frac{t_p t_i \left(1 - r_g t_p \frac{1 - \sigma a}{\sigma a} \right)}{\left(1 - t_i \frac{1 - \sigma a}{\sigma a} \right) - t_p (t_p - t_i)}$$

2 实验模拟

为了考察模型的准确性,用 MATLAB 软件模拟新模型中 $r(\sigma a)$, $r_i(\sigma a)$ 和 $r_p(\sigma a)$ 与网点面积率的关系。由于实验条件的限制,运算时需要的参数值从相关文献中查阅^[7,9]。通过 MATLAB 软件进行数值模拟时的运行结果见图 5。

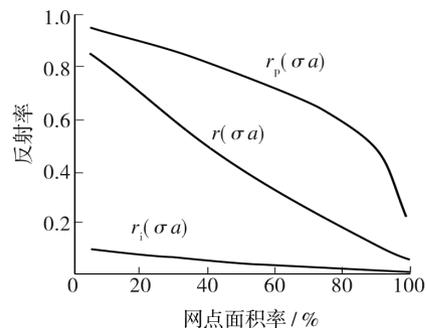


图 5 调频网半色调图像色彩预测模型反射率曲线

Fig. 5 Reflectance curves of color prediction model of FM halftone image

$r_p(\sigma a)$, $r(\sigma a)$ 和 $r_i(\sigma a)$ 随网点面积率的变化关系见图 5, 网点处的反射率 $r_i(\sigma a)$ 的变化和网点间的反射率 $r_p(\sigma a)$ 随着网点覆盖率的增加而不断减小,说明光在纸基中的散射对图像的反射率确实有很大影响。

3 结论

文章通过分析调频加网印品图像的微观结构和特征,首先推导出理想状态下调频加网图像的 Murray-Davies 反射率模型;但理想状态的预测模型没有考虑承印物基底的光散射效应。文章分析了光在纸基中的散射效应和在墨层—纸基中的反射与透射规律,运用光散射概率理论构建了墨点与墨点间的局部反射与透射关系,得出了针对调频加网半色调图像的微观色彩预测模型,并通过 MATLAB 软件进行了数

(下转第 102 页)

- [17] 张印. 码垛机器人应用、故障处理及性能优化[J]. 硅谷, 2009(15):20-21.
- [18] 余晓明,管会生,曾晓芳. 四自由度机器人在米袋码垛系统中的仿真研究[J]. 黑龙江水专学报,2008,35(2):95-98.
- [19] 王玉蓉. 我国啤酒码垛及设备应用研究[J]. 湖北经济学院学报(人文社会科学版),2010,7(7):65-66.
- [20] 朱作付,徐超,葛红美. 机器视觉技术在包装领域的应用[J]. 包装工程,2010,31(3):124-127.
- [21] 邱泓,张辉. 基于机器视觉的玻璃瓶码垛机检测与搬运系统设计[J]. 仪表技术与传感器,2010(4):79-80.
- [22] 师宁. 计算机视觉在包装行业中的应用[J]. 邢台职业技术

学院学报,2008,25(3):27-29.

- [23] 焦恩璋,杜荣. 工业机器人分拣技术的实现[J]. 组合机床与自动化加工技术,2010(2):84-87.
- [24] 蒋明尧. ABB UP6 工业机器人在玻璃自动码垛系统中的应用[J]. 科技资讯,2007(1):168-169.
- [25] 崔秦元,侯约强. 机器人(码垛机械手)发展的前景与应用[J]. 中国食品工业,2008(10):47-48.
- [26] 陈辉. 浅析全自动包装码垛机器人[J]. 科协论坛,2009(10):78-79.
- [27] 杨福馨. 机器人技术在包装中的应用研究[J]. 包装世界,2005(1):36-39.

(上接第 66 页)

实验检测,系统全程位置控制的绝对误差在了 $\pm 2.0 \mu\text{m}$ 内,相对误差 0.667%,控制精度不逊于德国、日本的高水平系统;与目前流行的采用 PLC 作为控制器的进口系统相比,更有利于降低成本。本系统结合墨斗操作台控制系统、PC 机控制系统组成成套产品,通过了印刷车间实际复杂环境的考验,实践证明系统操作简便、性能稳定可靠、抗干扰能力强。同时,本设计为国内胶印机智能化油墨预置系统的实现创造了条件,有利于推动国产胶印机的自动化、智能化进程,具有良好的市场应用前景。

参考文献:

- [1] 卫延斌,史仪凯,康晓兵. 胶印机输墨系统计算机控制与设计[J]. 包装工程,2006,27(3):92-94.

- [2] 江丰邑. 信息时代的数字化印刷技术应用与展望[J]. 丝网印刷,2007(2):4-5.
- [3] 高谦,张乃龙,张跃明. 数字化胶印机上位机控制系统的开发[J]. 包装工程,2008,29(8):7-9.
- [4] 郭宽明. CAN 总线原理和应用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1996.
- [5] 刘和平,刘林,余红欣,等. PIC18Fxxx 单片机程序设计及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [6] 吕艳辉,张跃明,苏宇刚. 采用 PIC 单片机的墨斗电动机控制系统的设计[J]. 现代制造工程,2009(7):125-127.
- [7] 孙立志,赵辉. 三相方波无刷直流电动机 PWM 的实现[J]. 微电机,2003(5):29-38.
- [8] 成俊康,张涛. 用 8253 和 L6203 实现直流电机 PWM 调速控制[J]. 中国测试,2009(1):29-38.

(上接第 76 页)

拟值模拟,验证了模型的准确性。该模型可以较好地调频加网图像的色彩进行预测,有效控制网点扩大,指导印刷生产实践,进一步提高调频加网印刷品图像的质量。

参考文献:

- [1] 邝敏威,陈新. 调频加网技术分析和研究[J]. 包装工程,2002,23(5):12-14.
- [2] 周世生,李举. 调频加网有效网点面积率的研究[J]. 包装工程,2006,27(3):57-64.
- [3] ARNEY J S, ENGELDRUM P G, ZENG H. An Expanded Murray-Davies Model of Tone Reproduction in Half-tone Imaging[J]. Journal of Imaging Science and Technology, 1995, 36(6):502-508.
- [4] 张逸新. 数字印刷原理与工艺[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007.

- [5] ZHANG Yi-xin, ZANG Dong-juan, GE Jing-huan. Reflectance Model for Color Halftone Images [J]. Acta Photonica Sinica, 2007(36):339-341.
- [6] ARNEY J S. A Probability Description of the Yule-Nielsen Effect[J]. Journal of Imaging Science and Technology, 1997, 41:633-640.
- [7] ROGERS G L. A Generalized Clapper-Yule Model of Half-tone Reflectance[J]. Color Research & Application, 2000, 25(6):402-407.
- [8] ARNEY J S, TSUJIFA A. Symmetry Properties of Half-tone Images II: Accounting for Ink Opacity and Dot Sharpness [J]. Journal of Imaging Science and Technology, 1999, 43(4):359.
- [9] NYSTRÖM Daniel. High Resolution Analysis of Half-tone Prints[D]. Linköping University, Sweden, 2008.