

基于纽介堡方程的黑版生成方法研究

钟云飞¹, 付芦静², 王小靖¹

(1. 湖南工业大学, 株洲 412007; 2. 江南大学, 无锡 214122)

摘要: 在彩色印刷过程中, 通常加印黑版用以补偿印刷图像暗调不足。提出了一种基于纽介堡方程的黑版生成方法, 选择 IT8.7/3 中的部分色块为样本, 通过纽介堡方程将样品的 XYZ 值进行转换, 得到了相应的 CMY 网点面积率。利用黑版计算公式, 确定了相关参数的取值, 最后得到了黑版值。试验结果表明, 该黑版生成方法具有一定的可靠性和实用性, 对印刷分色和黑版生成具有参考价值 and 理论意义。

关键词: 纽介堡方程; 黑版; 颜色空间转换; 彩色印刷

中图分类号: TS865; TS802.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2013)11-0098-04

Research of Black Plate Generation Method Based on Neugebauer Equation

ZHONG Yun-fei¹, FU Lu-jing², WANG Xiao-jing¹

(1. Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China; 2. Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In color printing process, a black plate was added to compensate dark shortage of printing image in general. A black plate generation method based on Neugebauer Equation was proposed. Part of color blocks of IT8.7/3 were selected as the sample, and the XYZ values of the sample were transformed into corresponding CMY dot area rate through Neugebauer Equation. Value of relevant parameters was determined to get the black plate value by using the calculation formula of black plate. The experiment results showed that the black plate generation method has certain reliability and practicability, which has reference value and theoretical significance for color separation in printing and black plate generation.

Key words: Neugebauer Equation; black plate; color space transformation; color printing

在彩色印刷复制理论中, 三色印刷应当可以复制色域范围内的一切颜色, 但由于实际印刷工艺中存在很多困难, 诸如分色系统误差、印刷套印不准以及油墨与纸张的不完全理想等, 都可能导致印刷后的色彩发生偏差。尤其是黄、品红、青三色叠印后的中性灰不平衡, 使印刷图像暗调部反差不够, 密度太低, 造成图像模糊不清, 因此, 在印刷过程中, 都加印黑版以补偿图像暗调的不足。

颜色空间转换是忠实再现印刷图像的理论依据, 目前颜色空间转换方法主要有多项式回归^[1]、纽介堡方程^[2]、3D-LUT 查找表插值法^[3]、BP 神经网络法^[4-5]等。纽介堡方程从色彩学的角度阐明了印刷

网点呈色机理, 建立从 CIE XYZ 颜色空间到 CMYK 颜色空间转换关系, 还从数学角度对混合色三刺激值和油墨网点面积率之间的关系进行定量描述, 在彩色印刷复制中具有重要的理论价值和实用价值^[6]。利用纽介堡方程建立精确的色空间转换模型, 得到 CMY 网点面积率, 最终利用黑版计算公式得到黑版量, 快速的得到四色印刷中的黑版。

笔者讨论基于纽介堡方程的黑版生成方法, 利用 IT8.7/3 色块为色靶, 通过对色块的 XYZ 值进行测量, 利用纽介堡方程建立 XYZ 到 CMY 色空间转换模型, 得到 CMY 点面积率, 通过数据拟合得到黑版计算公式的相关参数 k, p 的取值, 最终利用黑版计算公式

收稿日期: 2012-11-30

基金项目: 湖南省自然科学省市联合基金项目(12JJ9043); 2011 年度湖南工业大学自然科学研究项目(2011HZX03); 湖南省科技计划项目(2012FJ3038)

作者简介: 钟云飞(1975-), 男, 白族, 湖南慈利人, 湖南工业大学副教授, 主要研究方向为图像处理和模式识别。

得到黑版量。

1 纽介堡方程基本理论

1.1 纽介堡方程

纽介堡方程可以看作是一种颜色空间转换模型,同时也可以作为基于同色异谱复制原理的色度学平衡方程^[7-8]。它的原理清晰明了,将定性分析和定量计算相结合,揭示了印刷半色调形成的物理基础和数量关系,同时还将网点并列与重叠、印刷材料呈色误差等影响因素计入模型,具有很强的实用性^[9]。另外只需要对少数油墨色样进行测量,就能建立完整的颜色空间转换关系。纽介堡方程如(1)式所示。

$$\begin{cases} X=f_w X_w+f_y X_y+\cdots+f_{bk} X_{bk} \\ Y=f_w X_w+f_y X_y+\cdots+f_{bk} X_{bk} \\ Z=f_w Z_w+f_y Z_y+\cdots+f_{bk} Z_{bk} \end{cases} \quad (1)$$

其中: X, Y, Z 为标准样品三刺激值; $[X_w, Y_w, Z_w], [X_y, Y_y, Z_y], \dots, [X_{bk}, Y_{bk}, Z_{bk}]$ 分别表示白、黄、品红、青以及红、绿、蓝和黑 8 种颜色的实地块三刺激值; f_w, f_y, \dots, f_{bk} 分别表示 8 个颜色的网点百分比。另外,为使表示更为简洁,通常将式(1)写成矩阵形式:

$$\begin{bmatrix} X(c, m, y) \\ Y(c, m, y) \\ Z(c, m, y) \end{bmatrix} = \sum_{i=0}^7 a_i \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

纽介堡方程与其他分色方法相比,具有逻辑明晰、模型简单、操作简便等优势。

1.2 纽介堡方程修正

在实际运用纽介堡方程时发现,由于印刷过程中不确定因素、印刷工艺因数参数、纽介堡方程需要的数据样本要求和分色运算复杂等因素的影响,从而使计算得到的网点值与印刷实际网点值存在较大的差异,如果用计算网点值直接印刷会导致印品颜色差异太大。经过对纽介堡方程进一步分析,发现计算误差来源于以下方面。

1) 纽介堡方程并没有对网点扩大现象进行考虑,而实际测量值中却已经包含了网点扩大效应,从而产生误差。

2) 纽介堡方程中的 X, Y, Z 三刺激值都是通过测量其实地色块得到的,但实际上由于受到网点的墨层厚度、网点边缘的光学效应等因素影响,使得测量值与计算值并不相等。

3) 在印刷过程中,不可能完全套印准确,从而使网点移位,造成实际网点面积率和理论值不相符合,因此最终实际计算得到的颜色三刺激值与理论值产生偏差。

为了能使纽介堡方程的理论价值和实用价值能够得到很好的运用,研究人员都在对修正纽介堡方程进行深入研究,主要的修正方法有网点扩大修正^[10]、Yule-Nielson 指数修正、Cellular 修正法、回归法修正^[11]等。

2 黑版计算

2.1 黑版生成的原理

黑版是用来弥补印刷的局限性同时使印刷能顺利的进行,对原稿的中性灰成分进行准确的再现。黑版的大小是根据中性灰成分的大小来确定的,其基本原则是:在彩色区域不产生黑版,只在包含中性灰的区域才产生黑版,且黑版量与饱和度有关,饱和度越大,黑版量越小,饱和度越小,黑版量越大。通常黑版常分为长调黑版、中调黑版和短调黑版 3 种。

在黑版的计算中,主要以三色油墨的最小油墨量作为黑版的基本油墨量,再减去一定比例的三色最大油墨量与最小油墨量的差值得到,其表达式如式(3)所示。

$$BK=p[S-(L-S)/k] \quad (3)$$

其中: L 代表三色油墨的最大油墨量; S 代表三色油墨的最小油墨量; k, p 为一个比例常数。

在式(3)中,当 $S=0$ 时,对应像素点为纯色,无黑版产生,只有当 $S>0$ 时才会产生黑版; $L-S$ 表示复合色的饱和度大小,当 $L-S=0$ 时,复合色为中性灰,黑版量最大,同时黑版量会随着饱和度的增大为降低; k 值表示饱和度对黑版的影响,当 k 太大时,那么无论饱和度如何,黑版量都相同,会将弄脏纯色部分,而当 k 太小了,那么黑版量也很小,起不到黑版的作用,因此 k 通常为 10~15; p 直接影响黑版的大小。

2.2 黑版量计算

黑版的计算过程如下:选择 IT8.7/3 色块作为实验色块,通过分光光度计在 D65 光源和 2° 视场下测试得到各色块的 XYZ 值;根据测试所得的 XYZ 值,利用纽介堡方程计算得到各色块的 CMY 值;选择部分 IT8.7/3 色块作为样本色块,在 photoshop 中设置黑版量分别形成短调、中调和长调黑版;根据 photoshop 中所生成的黑版量数据,对数据进行拟合,得到 k, p 的

关系式;根据 k, p 的关系式确定黑版计算公式中的 k, p 值, 带入黑版计算公式中得到各色块的黑版量。

2.3 黑版计算参数确定

在计算黑版时, 关键是确定计算参数 k, p 的值。选择 IT8. 7/3 中的部分色块为样本, 在 photoshop 中对色块设置黑版量形成短调、中调和长调黑版, 根据

黑版生成后的 k, p 值进行数据拟合得到 k, p 之间关系式。因为 k 的经验值一般取 10 ~ 15, 在 k 值分别 10 ~ 15 时, 分别计算 10 组色块的 p 值, 得到 10 组色块在短调、中调和长调黑版时的 k, p 数据样本集, 对所得到的数据样本值进行拟合得出 k, p 的数学函数关系, 其 k, p 值见表 1—3。

表 1 短调黑版 k, p 值
Tab. 1 Light black k, p value

k 值	组号										平均 p 值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10	0.189	0.201	0.274	0.293	0.248	0.278	0.294	0.307	0.319	0.427	0.283
11	0.184	0.197	0.269	0.288	0.244	0.274	0.29	0.304	0.316	0.422	0.279
12	0.181	0.194	0.266	0.285	0.242	0.271	0.287	0.301	0.313	0.418	0.276
13	0.178	0.192	0.263	0.282	0.239	0.268	0.285	0.298	0.311	0.415	0.273
14	0.176	0.19	0.26	0.279	0.237	0.266	0.283	0.296	0.309	0.412	0.271
15	0.174	0.188	0.258	0.277	0.236	0.264	0.281	0.295	0.307	0.409	0.269

表 2 中调黑版 k, p 值
Tab. 2 Medium black k, p value

k 值	组号										平均 p 值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10	0.314	0.352	0.411	0.418	0.413	0.437	0.478	0.478	0.511	0.549	0.436
11	0.307	0.345	0.404	0.412	0.407	0.431	0.472	0.472	0.506	0.542	0.43
12	0.302	0.34	0.399	0.407	0.403	0.426	0.467	0.468	0.501	0.537	0.425
13	0.297	0.336	0.394	0.402	0.399	0.422	0.463	0.464	0.498	0.533	0.421
14	0.293	0.332	0.39	0.399	0.395	0.418	0.46	0.461	0.494	0.529	0.417
15	0.29	0.329	0.387	0.396	0.393	0.416	0.457	0.459	0.492	0.526	0.414

表 3 长调黑版 k, p 值
Tab. 3 Heavy black k, p value

k 值	组号										平均 p 值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10	0.44	0.553	0.594	0.628	0.62	0.635	0.662	0.683	0.703	0.762	0.628
11	0.43	0.543	0.584	0.618	0.611	0.626	0.653	0.675	0.695	0.753	0.619
12	0.422	0.534	0.576	0.61	0.604	0.619	0.647	0.669	0.689	0.746	0.612
13	0.416	0.528	0.569	0.604	0.598	0.614	0.641	0.663	0.684	0.74	0.606
14	0.41	0.522	0.563	0.598	0.593	0.609	0.636	0.659	0.68	0.735	0.601
15	0.405	0.517	0.559	0.594	0.589	0.605	0.632	0.655	0.676	0.731	0.596

通过对表中的数据拟合, k, p 之间的关系表达式为:

$$p = 0.00025k^2 - 0.009k + 0.35 \quad (10 \leq k \leq 15) \quad (4)$$

$$p = 0.0004k^2 - 0.014k + 0.54 \quad (10 \leq k \leq 15) \quad (5)$$

$$p = 0.00057k^2 - 0.021k + 0.78 \quad (10 \leq k \leq 15) \quad (6)$$

2.4 黑版计算

通过对色块的分析基础上, 取 k 值为 15。利用

k, p 关系得到短、中、长调黑版的 p 值, 将 k, p 带入黑版计算式 3 可以得到短调、中调和长调黑版值和相应的 CMY 网点面积率。从所选的 IT8. 7/3 色块中原始黑网点面积率为 40% 和 60% 中选出各 5 组色块, 80% 中选出 4 组色块, 利用色差公式计算本文黑版计算方法和 Photoshop 中黑版生成方法所产生色差, 对黑版量计算进行精度验证, 见表 4。

表4 色差对比

Tab.4 Comparison of color difference

组号	原始色块 在 Photoshop 中色差	本文计算的 色块色差
1	12.206 555 62	12.845 23
2	11.224 972 16	10.816 65
3	11.224 972 16	8.660 254
4	9.219 544 457	5.916 08
5	5.196 152 423	6.164 414
6	10.246 950 77	9.643 651
7	9.110 433 579	14.899 66
8	9.433 981 132	18.708 29
9	7.141 428 429	13.453 62
10	5.196 152 423	26.776 86
11	14.352 700 09	27.018 51
12	11.224 972 16	15.748 02
13	10.049 875 62	35.171 01
14	6.164 414 003	20.639 77

通过上表数据可以知道,此黑版生成方法对于黑版量小,即以彩色为主或色调明快的图像本方法较好,而对于较接近中性灰的,以非彩色为主,彩色为辅的原稿则色差相对较大。

3 结论

对彩色印刷分色中如何正确的确定黑版量进行探讨,通过对色块 XYZ 的测量,利用纽介堡方程建立 XYZ 到 CMY 颜色空间转换模型,得到 CMY 网点面积率,验证了纽介堡方程较之于其他分色方法所具有的优越性。由于黑版计算公式中参数 k, p 需要采集大量数据进行拟合,只选取了少量数据拟合导致计算精度降低,需要对计算精度进行深入研究。

参考文献:

- [1] 成刚虎,熊康鹏. 纽介堡方程的理论价值及其局限性研究[J]. 中国印刷与包装研究,2010,5(2):24-28.
CHENG Gang-hu, XIONG Kang-peng. Study on Theoretical Value and Limitations of Neugebauer Equation[J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 5(2): 24-28.
- [2] 张琳,杨旭. 纽介堡方程计算精度的研究[J]. 包装工程, 2007, 28(11): 73-74.
ZHANG Lin, YANG Xu. Research on Precision of Neugebauer Equation[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(11):

- 73-74.
- [3] 薛扬,曾平. 一种基于 Neugebauer 方程的 3D_LUT 均匀化方法[J]. 计算机工程与应用, 2003, 32: 76-77.
XUE Yang, ZENG Ping. A Uniform 3D_LUT Method Based on Neugebauer Model[J]. Computer Engineering and Applications, 2003, 32: 76-77.
- [4] 陈路,李小东. 基于 BP 神经网络的 CMY 到 XYZ 颜色空间转换算法研究[J]. 包装工程, 2007, 28(7): 63-64.
CHEN Lu, LI Xiao-dong. Research of Algorithm Transforming CMY to XYZ Color Space Based on BP Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(7): 63-64.
- [5] 黎新伍. 一种基于神经网络和 Neugebauer 方程的输入图像色彩校正模型[J]. 传感技术学报, 2006, 19(6): 2694-2698.
LI Xin-wu. A Color Error Correction Model for Input Image Based on Neural Networks and Neugebauer Equation[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2006, 19(6): 2694-2698.
- [6] 周祎,曹从军. 基于数码打样 CMYK 到 $L^* a^* b^*$ 色彩空间转换方法的研究[J]. 包装工程, 2007, 28(12): 89-90.
ZHOU Yi, CAO Cong-jun. Study on Color Space Conversion from CMYK to $L^* a^* b^*$ Based on Digital Proofing[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(12): 89-90.
- [7] JONGPIL K, YAMASHITA J, MURAKATA T, et al. Color Prediction of Halftoning by Modified Neugebauer Equations [J]. Japan Hardcopy, 2002: 459-460.
- [8] AMIDROR I, HERSCH R D. Neugebauer and Demichel: Dependence and Independence in n-Screen Superposition for Color Printing[J]. Color Research and Application, 2000, 25(4): 267-277.
- [9] 成刚虎,王西珍. 纽介堡方程应用误差的理论探讨[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(1): 74-78.
CHENG Gang-hu, WANG Xi-zhen. Application Error Analysis to Neugebauer Equation[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2011, 27(1): 74-78.
- [10] 刘浩学,袁宇霞,杨文杰. 纽介堡方程的网点扩大修正法[J]. 北京印刷学院学报, 1999, 7(4): 19-23.
LIU Hao-xue, YUAN Yu-xia, YANG Wen-jie. A Method of Correcting Neugebauer Functions' Error by means of Dot Gain Value [J]. Journal of Beijing Institute of Printing, 1999, 7(4): 19-23.
- [11] SI Li-li, LIU Zhen, LIU Hao-xue. Researches on Neugebauer Equation Correction [C]. The 6th International Conference on Imaging Science and Hardcopy, 2008: 67-69.