

基于多项式回归的七色分色方法

刘真, 陈丽娜

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 利用多项式回归法进行分色建模, 结合灰平衡及兼色设置, 获得了最终的分色结果, 然后设计实验, 从分色误差、分色精度方面进行了评价。结果表明, 该分色方法取得的分色效果较好, 可以更加准确地进行颜色复制。

关键词: 多项式回归; 灰平衡; 兼色; 分色

中图分类号: TS801.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2013)07-0068-03

A Seven-color Separation Method Based on Polynomial Regression Equation

LIU Zhen, CHEN Li-na

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Combining gray component replacement and mid-color setting, a new seven-color separation model based on polynomial regression equation was proposed. The final color separation results were evaluated from color separation error, color separation precision. The results showed that the color separation effect is good; the method can make color reproduction more accurate.

Key words: polynomial regression; gray balance; mid-color; color separation

常规彩色分色技术是将印刷品分为青、品红、黄、黑四色, 然而仅用这 4 种油墨调和无法真实表现自然界中丰富的色彩^[1-2]。与传统四色印刷相比, 采用多色的高保真彩色印刷扩大了印刷品的色域, 能够更加准确地复制出自然场景中可见光色域内的色貌, 在高附加值印刷品方面具有其特殊的地位。目前国内高保真印刷没有形成统一的分色工艺, 没有广泛应用于商业印刷, 还处在试验研究阶段, 但随着经济和社会的发展, 高保真印刷已是不可逆转之势, 笔者针对 HPZ3200 打印机用多项式回归法, 构建 CMYKRGB 高保真分色模型, 采用分区理论同时结合中性灰调控及兼色设置, 获得最终的分色结果。

1 基于多项式回归的七色分色算法流程

首先根据颜色分区^[3]设计样本, 使用 HPZ3200 输出并测量其 Lab 值。根据这些样本集采用 SMGBD 法^[4]确定打印机的色域边界。然后在 CIELab 全色域

内等间隔采样, 获得分色模型的输入样本集, 判断各采样点是否在色域内。若不在打印机色域内, 就需要进行色域映射; 若在, 确定其所在的分区, 并用多项式回归法计算其分色值, 这里得到的分色值为灰成分全部替代时的分色值。接着确定替代率, 计算灰成分部分替代后的分色值, 最后是采用兼色设置方法计算兼色替代后的分色值, 即获得最终分色值, 流程见图 1。

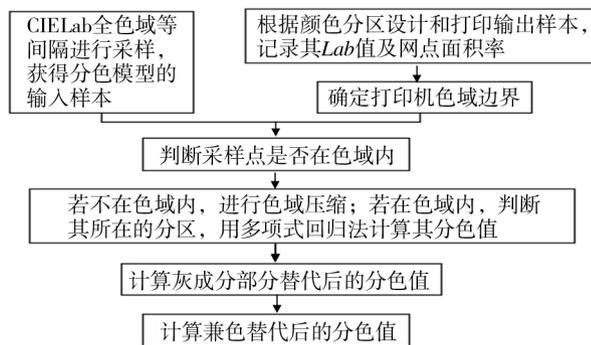


图 1 基于多项式回归的七色分色算法流程
Fig. 1 Flow of seven-color separation algorithm based on polynomial regression equation

收稿日期: 2012-10-20

基金项目: 上海市研究生创新基金项目

作者简介: 刘真(1953-), 女, 硕士, 上海理工大学教授, 主要研究方向为数字图文信息处理、色彩再现理论与应用、印刷数字化工作流程。

通讯作者: 陈丽娜(1986-), 女, 河南人, 上海理工大学硕士生, 主要研究方向为印刷色彩管理、数字图文信息处理。

表1 GCK 区样本集

Tab.1 Sample set of GCK area

序号	G/%	C/%	K/%	L	a	b
1	0	10	10	86.87	-6.95	-7.57
2	0	10	20	80.33	-6.33	-7.22
3	0	10	30	73.89	-5.58	-6.91
.....
1328	0	0	80	39.82	0.28	-1.24
1329	0	0	90	27.25	0.72	0.55
1330	0	0	100	13.74	1.04	2.29

2 分色算法实现

2.1 样本数据的获取

各分区的样本集设计如下:以 GCK 区为例,全部样本分为单色、两色叠色、三色叠色三部分。单色部分是 GCK 三单色分别以 10% 步进从 10% ~ 100% 的渐变色块;两色叠色部分是 3 个基色中两两组合分别以 10% 步进从 10% ~ 100% 进行两色叠色,第三色的网点面积率为 0;三色叠色部分是 3 个基色以 10% 步进从 10% ~ 100% 进行三色叠色,见表 1。然后使用 HPZ3200 打印输出样本,并用 Eyeone 测量其 Lab 值。使用 SMGBD 法确定 CMYKRGB 7 色的色域边界。

2.2 多项式回归算法构建分色模型

在 CIELab 全色域内等间隔采样,采样点作为分

$$\begin{cases} C = b_{10} + b_{11}l + b_{12}a + b_{13}b + b_{14}la + b_{15}lb + b_{16}ab + b_{17}l^2 + b_{18}a^2 + b_{19}b^2 \\ M = b_{20} + b_{21}l + b_{22}a + b_{23}b + b_{24}la + b_{25}lb + b_{26}ab + b_{27}l^2 + b_{28}a^2 + b_{29}b^2 \\ Y = b_{30} + b_{31}l + b_{32}a + b_{33}b + b_{34}la + b_{35}lb + b_{36}ab + b_{37}l^2 + b_{38}a^2 + b_{39}b^2 \\ K = b_{40} + b_{41}l + b_{42}a + b_{43}b + b_{44}la + b_{45}lb + b_{46}ab + b_{47}l^2 + b_{48}a^2 + b_{49}b^2 \\ R = b_{50} + b_{51}l + b_{52}a + b_{53}b + b_{54}la + b_{55}lb + b_{56}ab + b_{57}l^2 + b_{58}a^2 + b_{59}b^2 \\ G = b_{60} + b_{61}l + b_{62}a + b_{63}b + b_{64}la + b_{65}lb + b_{66}ab + b_{67}l^2 + b_{68}a^2 + b_{69}b^2 \\ B = b_{70} + b_{71}l + b_{72}a + b_{73}b + b_{74}la + b_{75}lb + b_{76}ab + b_{77}l^2 + b_{78}a^2 + b_{79}b^2 \end{cases} \quad (1)$$

用多元线性回归方程求解上式。以 C 通道为例,

令 $z_1 = l, z_2 = a, z_3 = b, z_4 = la, z_5 = lb, z_6 = ab, z_7 = l^2, z_8 = a^2, z_9 = b^2$, 则上式转化为求解 C 的回归估计值 \hat{c} 。

$$\hat{c} = b_{10} + b_{11}z_1 + b_{12}z_2 + b_{13}z_3 + b_{14}z_4 + b_{15}z_5 + b_{16}z_6 + b_{17}z_7 + b_{18}z_8 + b_{19}z_9 \quad (2)$$

通过多元线性回归分析可以求出 b_i 的最小二乘估计值 $\beta_i (i = 10, 11, \dots, 19)$, 最终结果如式(3)所

$$\begin{cases} C = 84.03 - 4.01L - 1.31a - 4.66b + 0.028L^2 + 0.012a^2 - 0.033b^2 + 0.014La + 0.023Lb - 0.026ab \\ K = 91.02 + 0.34L + 0.046a + 0.07b - 0.014L^2 - 0.005a^2 - 0.003b^2 + 0.003La + 0.005Lb - 0.002ab \\ G = 82.67 - 2.96L - 1.61a + 3.23b + 0.023L^2 - 0.002a^2 + 0.007b^2 + 0.008La - 0.031Lb + 0.004ab \end{cases} \quad (4)$$

2.3 灰成分替代

由式(4)得到的是灰成分全部替代后的分色值,记为 c_0, g_0, k_0 , 在实际使用中,灰成分是按照原稿需求进行部分替代的,因此先对 CMYK4 色建立灰平衡曲线^[5],然后在实验中以灰成分替代率 h_k 进行部分替代,此时被替代的 K 值为 $k_0 \cdot h_k$, 其等效的 CMY 值为 c_k, m_k, y_k , 分色数变为 CMYKGS 色, 分色值变为 c_1, m_1, y_1, k_1, g_1 :

色模型的输入样本,判断各采样点是否在设备色域内。若不在,采用色域裁剪算法将色域外的点压缩到边界上;若在,采用多项式回归算法建立分色模型。建立的多项式方程是以 L, a, b 值为自变量, C, M, Y, K, R, G, B 的网点面积率为应变量:

$$C = \beta_{10} + \beta_{11}l + \beta_{12}a + \beta_{13}b + \beta_{14}la + \beta_{15}lb + \beta_{16}ab + \beta_{17}l^2 + \beta_{18}a^2 + \beta_{19}b^2 \quad (3)$$

以 GCK 分区为例,利用表 1 中 342 个样本点的网点面积率和对应的 Lab 值对各项系数求解,求解后的方程组如式(4)。

$$\begin{cases} c_k = -0.0042 \times (k_0 \times h_k)^2 + 1.388 \times (k_0 \times h_k) + 1.7246 \\ m_k = -0.0091 \times (k_0 \times h_k)^2 + 1.8496 \times (k_0 \times h_k) + 4.7384 \\ y_k = -0.0112 \times (k_0 \times h_k)^2 + 1.9989 \times (k_0 \times h_k) + 6.4175 \\ c_1 = c_0 + c_k \\ m_1 = m_k \\ y_1 = y_k \\ k_1 = k_0(1 - h_k) \\ g_1 = g_0 \end{cases} \quad (5)$$

(6)

由式(5)与(6)可计算得替代后的各分色值。

2.4 兼色替代

以上是基于 RGB 颜色值取最大值时计算得到的分色值,由于低饱和度的兼色可以由一定比例的 CMY 混合得到,而完全由 CMY 再现颜色,某些高饱和度的颜色则无法复制,整体色域会变小,因此需要兼色部分替代^[6]。仍以 GCK 色区为例,首先实验确定 G 与 CK 之间的等效替代关系,确定兼色替代方程(7);确定兼色替代率 h_g ,计算兼色替代后的分色值 c_2, m_2, y_2, k_2, g_2 ,即为最终的分色值。

$$\begin{cases} C_g = -0.0001(g_1 \cdot h_g)^2 + 0.0152(g_1 \cdot h_g) + 0.0596 \\ Y_g = -0.0001(g_1 \cdot h_g)^2 + 0.0159(g_1 \cdot h_g) + 0.0437 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} c_2 = c_1 + c_g \\ m_2 = m_1 \\ y_2 = y_1 + y_g \\ k_2 = k_1 \\ g_2 = g_1(1 - h_g) \end{cases} \quad (8)$$

3 算法的评价

此分色算法分色结果的精确性可以从分色误差、分色精度^[7-8]两方面进行,绝对误差可以很好地反映出一个分色模型的精确程度,而色差可以反映出一个分色算法是否能够达到印刷精度要求,是否具有可行性。选取样本集中的 132 个色块进行检测,将这些色块使用本分色算法进行分色,比较分色结果与设计样本的记录值,计算其绝对误差,绘制各个分色的绝对误差概率分布直方图,见图 2。图中 CMYRGB 的绝对误差采用对应颜色的直方条表示,K 的绝对误差用白

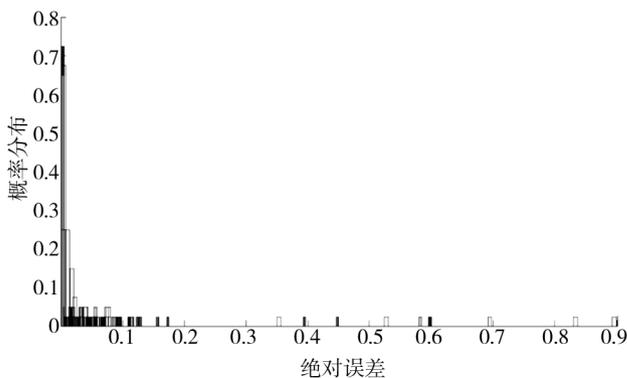


图 2 CMYKRGB 各分色绝对误差概率分布直方图

Fig. 2 Absolute error histogram of CMYKRGB separation results

色的直方条表示。从直方图可以看出:7 个分色的绝对误差在 $[0, 0.1]$ 区间较为集中,说明大部分颜色的分色结果是准确的,建立的多项式分色算法可行;整体绝对误差在 $[0, 0.12]$ 区间分布,整个区间中,随着误差的增大,7 个分色的误差出现频率逐步下降;个别误差出现在 0.6 之后,为分色出错点,说明分色过程中仍有个别奇异点。

精度分析:建立含有上述分色算法的特性文件“7C_PR.icc”,在 HP Z3200 上用此特性文件输出检测样本集,并用 Eyeone 测量其色度值,记录这些值。然后运用色差公式计算经过“7C_PR.icc”输出流程的色块色度值与原检测样本的色度值之间的色差:

$$\Delta E = [(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2]^{1/2} \quad (9)$$

结果见表 2,可以看出:平均色差为 3.78,较领域中常规的印刷品色差 3 偏大,但仍然在人眼可接受的范围内;色差小于 6 的色块占总色块数的 73%,其中色差小于 3 的色块多于在 3~6 之间的色块。

表 2 色差分布情况

Tab. 2 Color difference distribution

色差	0~3	3~6	6~10	10~15	15~22	22~	平均色差
数量	55	41	16	13	4	3	3.78

4 结论

建立的基于多项式回归的七色分色算法其绝对误差小,并且绝大部分色块的色差都小于 6,在人眼可接受的范围内,分色结果比较准确,能够满足高质量颜色复制的要求。

参考文献:

- [1] 汪姗姗. 高保真印刷技术[J]. 印刷世界, 2008(1): 38-39.
WANG Shan-shan. High Fidelity Printing Technology[J]. Print World, 2008(1): 38-39.
- [2] 陈广学. 实现高保真印刷的研究与实验[C]. 2008 印刷版材发展技术论坛论文集, 2008: 158-163.
CHEN Guang-xue. Research on High Fidelity Printing[C]. 2008 Printing Plates Development Forum Proceedings, 2008: 158-163.
- [3] 曹朝辉. 多色印刷分色模型研究[D]. 郑州: 中国人民解放军信息工程大学, 2007.

存在图像周围一些图像细节信息的丢失的情况,且仍有少量的噪音,需要进一步的提升。

参考文献:

- [1] HUANG Kai-qi, WU Zhen-yang, WANG Qiao. Image Enhancement Based on the Statistics of Visual Representation [J]. *Image and Vision Computing*, 23. 1 (2005): 51-57.
- [2] 车国泉, 秦军, 陈于林. 一种基于直方图均衡化改进的图像增强算法[J]. *四川测绘*, 2007, 30(4): 152-154.
CHE Guo-quan, QIN Jun, CHEN Yu-lin. A Method Improved on Histogram Equalization for Image Enhancement [J]. *Surveying and Mapping of Sichuan*, 2007, 30(4): 152-154.
- [3] 高均立. 基于直方图均衡化的数字图像增强技术[J]. *陕西科技大学学报*, 2011, 29(2): 118-121.
GAO Jun-li. Digital Image Enhancement Techniques Based on Histogram Equalization [J]. *Journal of Shanxi University of Science and Technology*, 2011, 29(2): 118-121.
- [4] 高彦平, 郑永果. 基于抛物线调整的直方图均衡化[J]. *福建电脑*, 2005(4): 43-44.
GAO Yan-ping, ZHENG Yong-guo. Histogram Equalization Adjustments Based on The Parabolic [J]. *Fujian Computer*, 2005(4): 43-44
- [5] 高彦平, 郑永果. 图像增强方法的研究与实现[D]. 济南: 山东科技大学, 2005.
GAO Yan-ping, ZHENG Yong-guo. Research and Implementation of Image Enhancement Methods [D]. Jinan: Shandong University of Science and Technology, 2005.
- [6] MENG Fan-bo. Development of a Dual-detector X-ray Imaging System for Phase Retrieval study. " Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 254. 2(2007): 300-306.
- [7] RAHMAN Zia-ur, JOBSON Daniel J, WOODSELL Glenn A. Investigating the Relationship between Image Enhancement and Image Compression in the Context of the Multi-scale Retinex [J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 22. 3 (2011): 237-250.
- [8] 陈文飞, 黄志勇, 董文永, 等. 基于 Piecewise 直方图均衡化的图像增强方法[J]. *通信学报*, 2011, 32(9): 153-160.
CHEN Wen-fei, HUANG Zhi-yong, DONG Wen-yong, et al. Histogram Equalization Adjustments Based on Piecewise [J]. *Journal on Communication*, 2011, 32(9): 153-160.
- [9] 刘锦辉. 图像增强方法的研究以及应用[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2009.
LIU Jin-hui. Research and Application on Image Enhancement Methods [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2009.
- [10] 张娜. 图像增强技术的研究[J]. *计算机仿真*, 2007(1): 192-195.
ZHANG Na. Research on Image Enhancement Technology [J]. *Computer Simulation*, 2007(1): 192-195.
- [11] 杨帆. 图像增强算法的研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2011.
YANG Fan. The Research on the Image Enhancement Algorithm [D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2011.
- [12] 吕王勇, 周杰, 高仕龙. 一种基于最优融合的数字水印算法[J]. *四川大学学报(自然科学版)*, 2005, 42(4): 669-673.
LYU Wang-yong, ZHOU Jie, GAO Shi-long. A Digital Watermarking Algorithm Based on The Optimal Fusion [J]. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*, 2005, 42(4): 669-673.

(上接第 70 页)

- CAO Zhao-hui. Study on Multi-color Printing Separation Model [D]. Zhengzhou: PLA Information Engineering University, 2007.
- [4] MOROVIĆ Ja'n, LUO M Ronnier. Calculating Medium and Image Gamut Boundaries for Gamut Mapping [J]. *Color Research and Application*, 2000: 394-401.
- [5] 李文育, 周世生. 关于灰平衡数据的计算[J]. *包装工程*, 2004, 25(1): 65-67.
LI Wen-yu, ZHOU Shi-sheng. The Calculation of Gray Balance [J]. *Packaging Engineering*, 2004, 25(1): 65-67.
- [6] 刘真, 周倩, 朱明. 高保真多色分色模型中间色的设置[J]. *包装工程*, 2011, 32(15): 18-21.
LIU Zhen, ZHOU Qian, ZHU Ming. A Mid-color Setting Method for Hi-Fi Color Separation Model [J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(15): 18-21.
- [7] 熊康鹏. 分色方法的建模研究与误差分析[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.
XIONG Kang-peng. Study on Modeling of Color Separation Methods and Errors Analysis [D]. Xi'an: University of Xi'an for Science and Technology, 2010.
- [8] 周倩, 刘真, 朱明. 3 种主流分色算法的误差分析[J]. *包装工程*, 2011, 32(7): 107-111.
ZHOU Qian, LIU Zhen, ZHU Ming, et al. Errors Analysis of Three Major Color Separation Algorithms [J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(7): 107-111.