

浅色墨映射算法研究

邓文骏, 邓开发

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 针对多色喷墨打印机中常见的 Lk 与 K, Lc 与 C, Lm 与 M 三类浅原色组合, 分别采用色度匹配与密度匹配两种方法, 建立了浅色墨与原色墨之间的映射关系, 并对两种方法进行了对比, 分析了其各自优缺点与适用范围。

关键词: 多色分色; 浅色映射; 色度匹配; 密度匹配

中图分类号: TS802.3; TS801.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2013)03-0125-04

Study of Light Color Ink Mapping Algorithm

DENG Wen-jun, DENG Kai-fa

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

Abstract: Aiming at three light and primary ink color pairs of Lk & K, Lc & C, Lm & M, which were commonly used on most multi-color inkjet printers, two matching methods of colorimetric matching and density matching were used to establish a mapping relationship between each pairs of light and primary ink color. The two methods were compared. The advantages, disadvantage, and application scopes of the two methods were analyzed.

Key words: multi-color separation; light color mapping; colorimetric matching; density matching

多色分色是当今色彩复制领域的研究热点之一, 包括多色打印机与多色印刷分色模型的研究^[1]。多色打印机通常在常规四色(KCMY)基础上增加淡青(Lc)、淡品(Lm)、淡黑(Lk)等浅色墨来实现色彩的高精度再现^[2]。针对含浅色墨的多色分色, 一般通过建立浅色墨与原色墨之间的映射关系, 将多色分色问题转换为四色分色问题, 其中浅色与原色的映射精度将对分色精度产生重要影响。CHANG Hwan-son, CHEOL Hee-lee^[4-6]等人在优化多色打印图像的颗粒度时, 建立了基于 CIEL* a* b* 值匹配的浅原色映射关系, 降低了打印图像的颗粒度; 王义峰等人^[7]提出通过 CIEL* a* b* 值匹配建立浅色与原色的线性映射关系; 徐天亮^[8]提出了通过 CIE XYZ 值匹配建立浅色墨与原色墨的非线性映射关系。在这些研究中, 仅涉及 Lc, Lm 2 种浅色墨, 对同样在颜色复制中起重要作用的 Lk 未有涉及。同时, 普遍采用色度匹配法构建映射关系, 对于具体的匹配方法缺乏研究。文中针对当前喷墨打印机中常用的 Lc, Lm, Lk 三类浅色墨进行研究, 并分别使用色度匹配与密度匹配两种方法构建浅色与原色之间的映射关系, 实验验证和分析了

2 种方法的优缺点。

1 映射关系建立方法

1.1 色度匹配法

映射关系建立的核心在于寻找浅色墨与原色墨的对应匹配点, 目前多数研究中均采用色度匹配法。浅色墨与原色墨的匹配关系可以表示为:

$$C(q_L) = C(q) \quad (1)$$

式中: q_L 与 q 分别表示浅色墨与原色墨的网点面积率; $C(q_L)$ 与 $C(q)$ 则分别代表浅色墨与原色墨在 q_L 与 q 的色度值。当等式成立时, 即代表此时浅色与原色的色度值相等, 两者可相互替代, 此时的 q_L 与 q 即为浅色墨与原色墨的匹配点。当求得多组匹配点时, 便可以建立浅色墨与原色墨之间的映射关系。

然而, 实际中浅色墨与原色墨不一定能取得色度值完全相等的匹配点, 需要式(1)进行优化。

式(2)中的匹配条件为色差值取得最小。对于浅色墨某一任意的网点面积率 q_L , 与 $C(q_L)$ 的色差值达到最小时的当前原色墨网点面积率 q 与 q_L 即为一组

收稿日期: 2012-11-21

作者简介: 邓文骏(1990-), 女, 江西人, 上海理工大学硕士生, 主攻颜色复制。

匹配点。

$$\min \Delta C = |C(q_L) - C(q)| \quad (2)$$

1.2 密度匹配法

同色度匹配法,密度匹配法的原理可表示为:

$$D(q_L) = D(q) \quad (3)$$

当两者密度 $D(q_L)$ 与 $D(q)$ 相等时,浅色墨与原色墨对应网点面积率 q_L 与 q 为一组匹配点。式(3)也可优化为:

$$\min \Delta D = |D(q_L) - D(q)| \quad (4)$$

即当出现无法取得相等密度值的情况时,使用密度差最小值作为匹配条件。

2 映射关系构建实验及结果分析

2.1 实验流程及设备

浅色墨映射关系构建的实验流程见图1。首先,

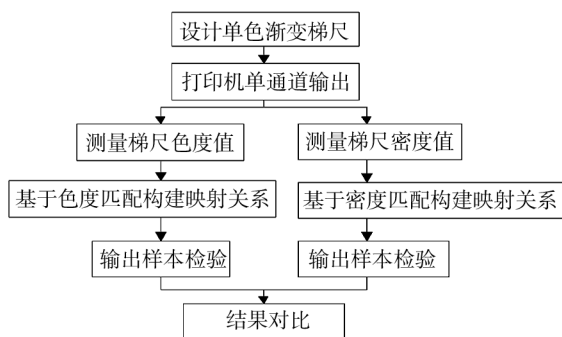


图1 实验流程

Fig. 1 Experiment flow

为每个浅色及原色设计梯尺并打印输出,测量得到梯尺样本中每个色块的 CIE $L^*a^*b^*$ 值与密度值;分别使用色度匹配与密度匹配法构建浅色墨与原色墨间的映射关系;根据两种映射关系设计检验样本并打印输出,测量检验样本数据并对两种映射关系结果进行对比分析。

实验中使用 Epson 7880 喷墨打印机,测量仪器为 i1-pro, 测量状态为 D50 光源, 2° 视场, 使用 CIE1976 $L^*a^*b^*$ 色差^[9]公式进行色差计算。

2.2 实验数据采集

设计各色从 0 ~ 100% 以 5% 为间隔,高光区增加 1%, 3%, 暗调区增加 97%, 99% 的渐变梯尺,见图2。打印输出,测量梯尺样本色块的色度值与密度值,分别绘制各色通道中,随网点面积率的变化,浅色及原色在 CIE LAB 空间中 a^*b^* , b^*L^* , a^*L^* 平面上的色

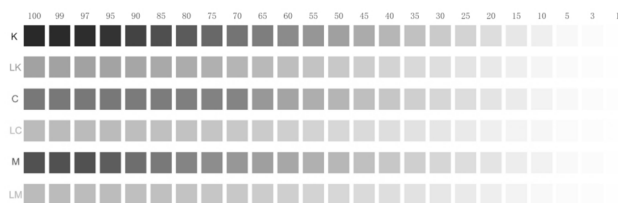


图2 单色渐变梯尺

Fig. 2 Single ink color gradient chart

度分布与密度分布,见图3和4。

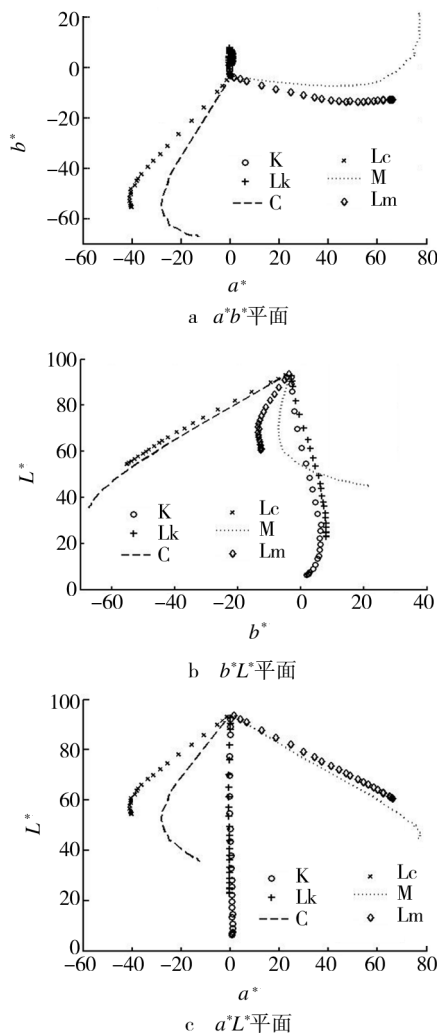


图3 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 空间中各色色度分布

Fig. 3 Distribution of each ink color in CIE 1976 $L^*a^*b^*$ color space

从图3中可以看出,与浅色墨相比,原色墨在颜色空间中的分布范围更广。每一组浅色墨与其原色墨的颜色分布曲线并不完全重合,存在一定差异。随着网点面积率的增加, L^* 值降低,浅色与其原色在

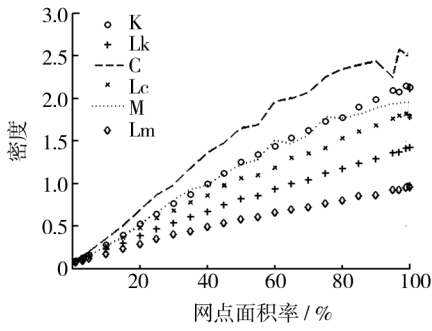


图4 CIE 1976 L*a*b*空间中各色密度分布
Fig.4 Density distribution of each ink color

CIE L*a*b* 空间中的颜色差异呈扩大趋势;该种趋势在 Lc 与 C,Lm 与 M 两组浅原色墨的对比中表现明显,而在 Lk 与 K 的对比中不甚明显。由图4可见,浅色墨与原色墨的密度与网点面积率大体上呈线性关系,浅色墨的线性度要优于原色墨,但原色墨的密度值范围大于浅色墨。

2.3 映射关系建立

根据获取的数据,分别采用式(2)和(3)求得浅色墨与原色墨间的色度与密度匹配点,见表1。

表1 两种匹配方法下浅色墨与原色墨的匹配点
Tab.1 Matching points of each light and primary ink color pair through two methods

Lk/Lc/Lm %	色度匹配			密度匹配		
	K	C	M	K	C	M
5	3.21	3.37	3.49	4.16	4.43	4.02
10	7.07	6.76	6.52	7.25	7.01	6.01
20	14.86	13.65	11.9	13.78	12.8	10.16
30	21.49	19.67	16.52	19.67	18.69	14.33
40	27.42	24.13	20.03	25.31	23.81	17.8
50	33.94	28.45	23.31	31.84	30.09	21.18
60	38.64	30.81	26.19	36.9	34.06	24.23
70	42.87	33.49	28.81	41.58	39.95	27.06
80	48.16	35.95	31.66	47.61	46.39	30.38
90	53.12	37.91	33.53	53.44	52.08	32.88
95	55.72	38.79	35.45	56.53	55.38	35.46
100	58.41	39.33	36.59	59.78	56.69	37.15

对两种匹配关系求得的匹配点进行多项式拟合,分别得到基于色度匹配与密度匹配的浅色墨与原色墨映射关系如下。

色度匹配法:

$$q_{Lk} = \begin{cases} 0 & (q_K > 58.41) \\ 0.0093q_K^2 + 1.1732q_K + 0.8854 & (q_K \leq 58.41) \end{cases}$$

$$q_{Lc} = \begin{cases} 0 & (q_C > 39.33) \\ 0.0611q_C^2 - 0.1287q_C + 7.2092 & (q_C \leq 39.33) \end{cases}$$
$$q_{Lm} = \begin{cases} 0 & (q_M > 36.59) \\ 0.0461q_M^2 + 1.0470q_M + 0.8419 & (q_M \leq 36.59) \end{cases} \tag{5}$$

密度匹配法:

$$q_{Lk} = \begin{cases} 0 & (q_K > 59.78) \\ 0.0016q_K^2 + 1.6344q_K - 2.2930 & (q_K \leq 59.78) \end{cases}$$
$$q_{Lc} = \begin{cases} 0 & (q_C > 56.69) \\ -0.0005q_C^2 + 1.8263q_C - 3.1718 & (q_C \leq 56.69) \end{cases}$$
$$q_{Lm} = \begin{cases} 0 & (q_M > 37.15) \\ 0.0151q_M^2 + 2.3149q_M - 5.0106 & (q_M \leq 37.15) \end{cases} \tag{6}$$

当原色墨的网点面积率为0时,对应浅色墨上的网点面积率也应为0,此处为了整体曲线拟合的精度较高,容许关系多项式中不为零的常数项存在。

2.4 映射关系对比与结果分析

基于得出的映射关系,对浅色墨全阶调内的网点面积率进行一系列均匀取样点,通过2种不同映射关系分别求得原色墨匹配点处的网点面积率。制作含浅色墨取样点与两种匹配方法所得原色墨匹配点的检验样本,打印输出后测量色度值,计算浅色墨与原色墨匹配点处的色差值,结果见表2。

表2 两种匹配方法匹配点处色差值对比
Tab.2 Color difference comparison of two matching methods

ΔE_{ab}^* %	色度匹配			密度匹配		
	K	C	M	K	C	M
5	1.18	1.57	1.32	0.87	3.32	1.93
10	1.33	3.45	2.23	0.73	2.95	2.10
20	2.03	6.39	4.28	1.67	6.18	4.40
30	2.98	9.11	5.6	2.54	8.81	6.32
40	3.58	11.03	7.08	2.92	11.00	7.43
50	4.03	12.7	8.13	3.40	13.18	8.25
60	3.87	13.53	8.18	2.99	13.91	8.64
70	3.12	13.82	8.29	2.84	15.78	8.86
80	2.8	14.55	9.22	2.71	17.24	9.03
90	2.6	13.3	9.53	2.52	18.07	9.01
95	1.98	12.34	9.44	2.31	18.89	9.46
100	2.29	12.26	9.92	2.19	18.76	9.73

从表2及图5可见,2种匹配方法所得的浅色墨与原色墨匹配点间的色差随网点面积率的增加而逐渐扩大,符合浅色墨与原色墨在 CIEL*a*b* 颜色空

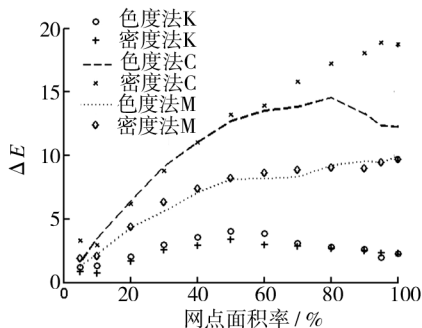


图5 两种匹配方法的色差分布

Fig. 5 Color difference distribution of two matching method

间的分布特性。Lk 与 K 匹配点处的色差较小,在全阶调内总体色差小于 4 个 CIEL* a^* b^* 色差单位,尚处于可接受范围内;而 Lc 与 C, Lm 与 M 两组匹配点处的色差相对较大。对两种方法的实验结果进行分析发现, Lk 与 K 的映射关系在网点百分比 70% 之前,密度匹配法较色度匹配法色差稍小;70% 之后两者色差相差不大。Lc 与 C 在 60% 之前相差不大;60% 之后,密度匹配法的色差持续扩大,而色度匹配法的色差则维持在一定范围内。Lm 与 M 两种映射关系在全通道范围内色差差别不大,从平均色差来看色度匹配法要略优于密度匹配法。

综合以上结论, Lk 与 K 的映射关系使用密度匹配法较好; Lc 与 C, Lm 与 M 的映射关系使用色度法较好。结合图 3 进行分析,可以看出, Lk 与 K 在色相上偏向于中性色,在 a^* b^* 两轴方向上的分量较少,整体颜色的饱和度也较低; Lc 与 C, Lm 与 M 的颜色饱和度均较高,其中, Lm 与 M 在 a^* 轴上的分量较多, b^* 轴上分量较小,而 Lc 与 C 在 a^* b^* 两轴上的分量均较大。色度匹配法综合考虑颜色 L^* , a^* , b^* 3 个分量的共同影响^[10],较适用与如 Lc 与 C, Lm 与 M 这类在 a^* b^* 轴上分量较大的高饱和度彩色颜色;而密度法偏重于对阶调的准确复制^[11],适用于如 Lk 与 K 这类偏向于中性色的颜色。

3 结语

针对喷墨打印机中常见的浅色组合,选取 Lk 与 K, Lc 与 C, Lm 与 M 三对浅原色组合,分别使用色度匹配与密度匹配 2 种方法建立浅色墨与原色墨间的映射关系,对于 2 种方法的结果进行了对比,分析了两种方法各自的适用方向。

参考文献:

- [1] 王强. 现代色彩复制理论与技术发展综述[J]. 中国印刷与包装研究, 2009(4): 1-7.
WANG Qiang. The Theory and Technology Development of Contemporary Color Reproduction[J]. China Printing And Packaging Study, 2009(4): 1-7.
- [2] HUNG P C. Colorimetric Characterization Beyond Three Colorants, 1999[C]. (余不详)
- [3] 朱明, 李晓春, 洪亮. 多色印刷分色算法研究综述[J]. 中国印刷与包装研究, 2012, 3(4): 10-17.
ZHU Ming, LI Xiao-chun, HONG Liang. Research Survey of Multi-color Printing Separation Technology[J]. China Printing and Packaging Study, 2012, 3(4): 10-17.
- [4] SON C H, CHO Y H, LEE C H, et al. Six Color Separation Using Additional Colorants and Quantitative Granularity Metric[J]. Journal of Imaging Science and Technology, 2006, 50: 25.
- [5] SON C H, JANG I S, LEE T H, et al. Photo-inkjet Printing Method Based on Limited Colorant Amount and Dot-visibility Ordering[J]. Consumer Electronics, IEEE Transactions, 2010, 56(2): 280-288.
- [6] SON C H, KIM Y T, LEE C H, et al. Six-color Separation for Improving Graininess in a Middle Tone Region[J]. Electronic Imaging, 2004, 5293: 110-120.
- [7] 王义峰, 曾平, 王莹, 等. 基于色域划分的多通道打印机色彩校正[J]. 电子学报, 2010, 3(3): 507-511.
WANG Yi-feng, ZENG Ping, WANG Ying, et al. Multi Channel Printer Characterization Based on Gamut Partition[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 3(3): 507-511.
- [8] 许天亮. 六色打印机彩色特性检测与校正技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
XU Tian-liang. Research on Detecting Color Characteristics and Color Correction Technology of Six-ink Printer[D]. Xi'an: Xi'an University, 2008.
- [9] 刘武辉, 胡更生, 王琪. 印刷色彩学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
LIU Wu-hui, HU Geng-sheng, WANG Qi. Printing Chromatology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [10] 郑元林, 杨淑蕙, 周世生, 等. CIE 1976LAB 色差公式的均匀性研究[J]. 包装工程, 2005, 26(2): 48-49.
ZHENG Yuan-lin, YANG Shu-hui, ZHOU Shi-sheng, et al. Research on Uniformity of CIE 1976 LAB Color Difference Formula[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(2): 48-49.
- [11] 刘武辉. 包装印刷中的密度研究[J]. 包装工程, 2008, 29(6): 48-51.
LIU Wu-hui. Study of Density in Packaging Printing[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6): 48-51.