基于平面方程理论实现L*a*b*到CMYK转换与输出

李仁爱[1]，张岩[1,2]，曹云峰[1]
（1. 南京林业大学，南京 210037；2. 河南牧业经济学院，郑州 450011）

摘要：目的 研究L*a*b*到CMYK颜色空间转换建模的思路及方法。**方法** 在平面方程理论的基础上，按照*K*取特征值的思路，在Matlab中采用拟合等方法，求出四色平面方程的相关系数，建立色空间转换的数学模型。**结果** 实现了L*a*b*到CMYK的颜色转换，并根据模型输出了图像，通过计算色差验证了模型精度达到要求。**结论** 该模型具有结构相对简单、运算速度较快的特点，对于颜色空间转换的研究有一定的参考和借鉴意义。

关键词： 平面方程；色空间转换；线性回归
中图分类号： TS801.3　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1001-3563(2014)21-0113-05

Color Space Conversion and Output from L*a*b* to CMYK Based on Plane Equation Theory

LI Ren-ai[1], *ZHANG Yan*[1,2], *CAO Yun-feng*[1]
(1. Nanjing Forestry University Jiangsu, Nanjing 210037, China;
2. Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450011, China)

ABSTRACT: Objective To study color space conversion model and methods from L*a*b* to CMYK. **Methods** In this paper, on the basis of the theory of the plane equation, according to the thought that K equaled to a given value, by adopting the method of fitting in Matlab, the correlation coefficients of four color plane equations were obtained, finally the mathematical model from L*a*b* to CMYK color space was established. **Results** The color space conversion model from L*a*b* to CMYK was realized, and it could output images based on the model, at the same time, the color difference range was verified to be reasonable. **Conclusion** The structure of the model was relatively simple and the speed of computing was fast. This paper discussed the model and methods from L*a*b* to CMYK ,which could provide reference for the study of color space conversion.

KEY WORDS: plane equation; color space conversion; linear regression

在印刷技术迅速发展的今天，色空间转换技术在色彩管理[1]工作中扮演越来越重要的角色。国际色彩联盟[2]制定了ICC标准，作为不同厂商、不同设备[3]描述各自颜色以及颜色转换的规范。对于色彩的打印输出，其质量不仅与打印环境、设备和材料有关[4]，更与CMYK颜色空间再现的准确性有关。目前L*a*b*到CMYK模型转换有插值法和模型法[5]两大类方案，这里的平面方程理论属于模型法，即通过实验建立L*a*b*到CMYK的数学模型，以解决颜色转换问题[6—9]。

1 四色平面方程理论

平面方程理论于20世纪末由日本学者在大量实验的基础上提出，其内容为：当青、品和黄等3色中某1色

收稿日期： 2014-03-11
基金项目： 江苏高校优势学科建设工程资助项目
作者简介： 李仁爱(1990—)，男，江苏徐州人，南京林业大学硕士生，主攻印刷工程。
通讯作者： 曹云峰(1966—)，男，江苏南通人，博士，南京林业大学教授、博士生导师，主要研究方向为制浆造纸与清洁生产。

的网点面积率一定，而其他2色的网点面积率任意变化时，所构成颜色的L^*，a^*，b^*值位于同一个平面上[3—6]。

$$L_{ci}^* = A_{ci}a^* + B_{ci}b^* + C_{ci};\quad \text{C颜色固定}$$

$$L_{mi}^* = A_{mi}a^* + B_{mi}b^* + C_{mi};\quad \text{M颜色固定}$$

$$L_{yi}^* = A_{yi}a^* + B_{yi}b^* + C_{yi};\quad \text{Y颜色固定} \qquad (1)$$

式中，A_{ci}，B_{ci}，C_{ci}为平面方程系数，可通过最小二乘法进行多项式拟合得到[3]；下标c，m，y分别表示青、品和黄色；i表示不同网点面积率。

研究还发现，对于青、品、黄和黑等4色构成的颜色来说，当黑色网点面积率一定，并且CMY中的1个颜色网点面积率一定，另外2色网点面积率任意变化时[10]，所形成颜色的L^*，a^*，b^*值也在同一平面内。可以根据三色平面理论，归纳出四色平面方程[5]：

$$L^*=\alpha(C+K-CK-\delta)a^*+\beta(C+K-CK-\delta)b^*+\gamma(C+K-CK-\delta)$$

$$L^*=\alpha(M+K-MK-\delta)a^*+\beta(M+K-MK-\delta)b^*+\gamma(M+K-MK-\delta)$$

$$L^*=\alpha(Y+K-YK-\delta)a^*+\beta(Y+K-YK-\delta)b^*+\gamma(Y+K-YK-\delta) \qquad (2)$$

其中，α，β，γ类似于三色方程中的系数；δ为修正系数[3—7]。求解式(2)，可以实现$L^*a^*b^*$到CMYK颜色空间的转换。另外，当式(2)中K=0时，即为式(1)的三色方程。可见，三色方程是四色方程的特例。

在实验中，先利用数学简化的思想把$(C+K-CK)$简化成三色方程中的C颜色。同理，令$(M+K-MK)$为M，$(Y+K-YK)$为Y，求解方程组即可。与三色同样的方法拟和；再将K值带入求解，实现$L^*a^*b^*$到CMYK颜色空间的转换和求解[4—7]。该研究的思路流程见图1。

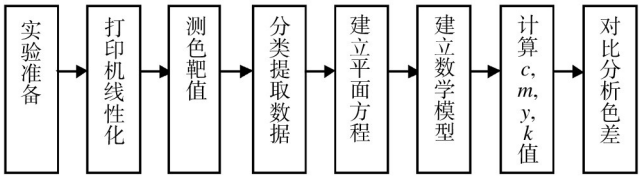

图1 思路流程

Fig.1 The flow chart of the idea

2 实验

2.1 实验仪器及材料

Epson 7880C数字喷墨印刷机；EFI Color Proof数码打样软件；泛太克210Gsm数码打样纸；ECI2002R色标；Eye-one及联机软件ProfileMaker5.0。

标准印刷实验条件：温度为20~25 ℃，相对湿度(RH)为40%~60%。

2.2 实验数据采集

色表的输出流程为：

1）对打印机进行开机预热，使打印状态稳定。

2）打印机线性化处理。利用EFI软件建立线性化流程，使设备基本达到线性。

3）在输出时关掉色彩管理选项[11]，载入已保存的线性文件。导入ECI2002R色标，打印文件。为减小误差，输出2份同样样张，完全干燥后分别测量，将2次测量得到的L^*，a^*，b^*值取平均数，得出最终数据。

4）保存数据，在Excel中对实验数据进行统计，按照K值0，20%，40%，60%和80%分类提取保存。

5）在Matlab中编程，根据平面理论，用回归法计算得到C，M，Y和K值。

3 $L^*a^*b^*$到CMYK色空间转换

3.1 平面方程系数确定

对打印出的ECI2002R色标进行测量，得到各色块的L^*，a^*，b^*值，并按照不同K值分类提取相应的L^*，a^*，b^*值。利用Matlab编程[12—13]，回归出平面方程的系数。对得到的平面方程进行显著性检验，判断L^*与a^*和b^*线性关系是否显著[14—15]。以K为40%时，CMY平面方程为例，见表1。

相关系数是反映变量之间相关关系密切程度的统计指标，是通过2个离差相乘来反映2变量之间的相关程度。系数越大，数据贴合越紧密。从表1可以看出，该实验得到的青、黑平面相关系数R的最小值为0.902 352，最大值为0.990 332；品、黑平面相关系数R的最小值为0.857 748，最大值为0.944 211；黄、黑平面相关系数R的最小值为0.920 379，最大值为0.994 371。说明当某一颜色的网点面积率一定时，其他颜色的网点面积率为任意变化的色块，其L^*，a^*，b^*值几乎位于同一平面上。同时可以看出，Y平面相关系数最理想，C平面次之，M平面虽然相比较差，但还是在合理范围内。产生的原因在于实际使用的原色墨不能完全吸

表1 平面方程及检验参数

Tab.1 Plane equation of CMY and checking parameters (K=40%)

平面	各色不同网点面积率			平面相关系数R	显著检验值F	显著性概率P	备注
	L^*	a^*	b^*				
C	0.504 729	0.077 946 9	69.6154	0.926 12	195.799	0	0%
	0.509 647	0.112 045	60.8269	0.990 332	1333.21	0	20%
	0.476 908	0.127 828	48.2288	0.984 994	1018.92	0	40%
	0.375 206	0.139 56	22.3335	0.902 352	86.9258	0	70%
	0.346 095	0.235 307	8.341 97	0.939 537	66.8994	0	100%
M	0.623 378	0.093 313 9	67.6923	0.857 748	66.6233	0	0%
	0.528 34	0.109 789	56.338 78	0.890 513	48.6696	0	20%
	0.527 012	0.092 173 2	46.6796	0.906 201	90.8114	0	40%
	0.382 265	0.159 399	24.1573	0.929 605	78.0346	0	70%
	0.325 78	0.203 211	12.6585	0.944 211	213.057	0	100%
Y	0.356 846	0.902 146	72.5389	0.920 379	180.672	0	0%
	0.298 73	0.889 523	57.8256	0.927 158	160.604	0	20%
	0.235 049	0.876 91	43.2127	0.966 558	435.038	0	40%
	0.099 484 9	0.703 795	19.1439	0.981 616	668.926	0	70%
	0.060 016 2	0.670 809	12.7892	0.994 371	2209.84	0	100%

收补色光,并完全反射其他色光[3]。显著性概率P均为0,方程有意义[14]。

3.2 建立 L*a*b*到 CMY 色空间数学转换模型

通过对平面理论的验证,回归出的平面方程中各项系数因各色的网点面积率的变化而不同。因此,利用曲线拟合的方法,可拟合出各色平面方程中的每一个平面系数和网点面积率之间的关系曲线,并求解拟合曲线的各项系数。现给出K为40%时的拟合平面方程,对于K取不同值时,采用相同的方法得出不同值时的平面方程。结果见表2。

因而平面方程系数与网点面积率的关系为:

$$\begin{aligned}
&A_c=0.0725C^2+0.1110C-0.5181\\
&B_c=0.1101C^2-0.0280C-0.0884\\
&C_c=1.7953C^2-62.8519C+71.3880 \qquad (3)\\
&A_m=0.0295M^2-0.3274M+0.6180\\
&B_m=0.1225M^2-0.0113M-0.0954\\
&C_m=6.7162M^2-63.5687M+68.4300 \qquad (4)\\
&A_y=0.0906Y^2+0.4072Y-0.3667\\
&B_y=0.1102Y^2-0.1542Y+0.9168\\
&C_y=33.6709Y^2-96.4608Y+74.0933 \qquad (5)
\end{aligned}$$

式中,A_x,B_x,C_x(x为c,m,y)为平面方程转换系数,x为网点面积率。

用多项式拟合出CMY平面系数曲线与对应网点面积率之间的关系,见图2。

根据表达式$L^*=A\ a^*+B\ b^*+C$,选取K分别为0,20%,40%,60%和80%。令CMY某1色固定时,回归出平面方程,又用多项式拟合求出平面系数曲线与对应网点面积率之间的关系。可以得出L*a*b*到CMY色空间的数学转换模型:

C平面转换模型方程:

$$L=(0.0725C^2+0.1110C-0.5181)a+$$

表2 平面方程转换系数

Tab.2 Plane equation coefficient of CMY (K=40%)

转换系数	平面方程A			平面方程B			平面方程C		
	a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2	a_3	b_3	c_3
C	0.0725	0.1110	0.5181	0.1101	0.0280	0.0884	1.7953	62.8519	71.3880
M	0.0295	0.3274	0.6180	0.1225	0.0113	0.0954	6.7162	63.5687	68.4300
Y	0.0906	0.4072	0.3667	0.1102	0.1542	0.9168	33.6709	96.4608	74.0933

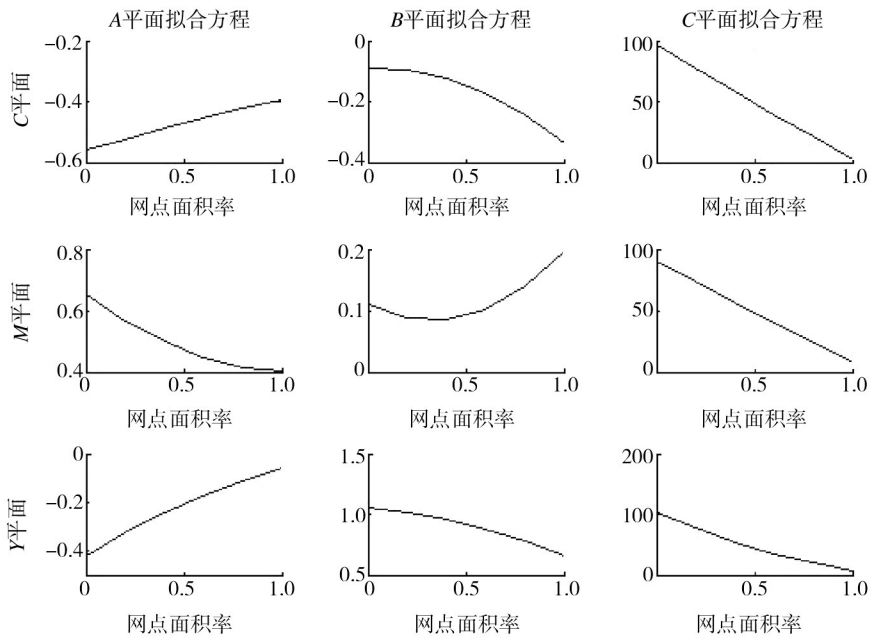

图2 K为40%时,CMY平面系数曲线与网点面积率关系

Fig.2 Relationship between CMY coefficient and dot area percentage (K=40%)

$$(-0.1101C^2-0.0280C-0.0884)b+(-1.7953C^2-62.8519C+71.3880) \quad (6)$$

M平面转换模型方程:

$$L=(0.0295M^2-0.3274M+0.6180)a+(0.1225M^2-0.0113M-0.0954)b+(6.7162M^2-63.5687M+68.4300) \quad (7)$$

Y平面转换模型方程:

$$L=(0.0906Y^2+0.4072Y-0.3667)a+(0.1102Y^2-0.1542Y+0.9168)b+(33.6709Y^2-96.4608Y+74.0933) \quad (8)$$

4 转换后的CMYK值打印输出与检验

4.1 CMYK值打印输出

设计1010小色块,检验上述$L^*a^*b^*$到CMY色空间数学转换模型的精度。色块L^*,a^*,b^*值已知,在Matlab中利用$L^*a^*b^*$到CMYK色空间的数学转换模型输出色块的C,M,Y,K值。不同K值下转换方程求出的左起输出色块第1列到第10列的C,M,Y,K值见表3。

根据表3数据,借用Matlab编程输出图像,见图3。

4.2 输出图像色差检验

将图3打印输出,测量色块的L^*,a^*,b^*值,与原始$L^{*\prime}$,$a^{*\prime}$,$b^{*\prime}$值对比,利用色差公式$\Delta E=((\Delta L)^2+(\Delta a)^2+$

表3 转换后的CMYK值

Tab.3 CMYK values after conversion

	C	M	Y	K		C	M	Y	K
	0.55	0.47	0.55	0.20		0.67	0.62	0.69	0.20
	0.56	0.58	0.58	0.00		0.41	0.33	0.29	0.00
	0.60	0.58	0.48	0.00		0.20	0.15	0.16	0.00
	0.43	0.38	0.30	0.00		0.61	0.47	0.50	0.00
第	0.28	0.24	0.23	0.00	第	0.73	0.64	0.77	0.00
1	0.46	0.34	0.32	0.00	6	0.63	0.57	0.63	0.40
列	0.59	0.52	0.49	0.00	列	0.69	0.54	0.56	0.00
	0.60	0.53	0.50	0.00		0.66	0.61	0.68	0.20
	0.58	0.50	0.58	0.20		0.38	0.30	0.31	0.00
	0.71	0.70	0.74	0.40		0.38	0.29	0.24	0.00
	0.60	0.68	0.66	0.20		0.57	0.48	0.60	0.00
	0.59	0.67	0.52	0.00		0.30	0.38	0.38	0.20
	0.62	0.72	0.70	0.20		0.40	0.44	0.45	0.00
	0.61	0.68	0.70	0.20		0.55	0.56	0.59	0.00
第	0.52	0.50	0.56	0.00	第	0.51	0.59	0.51	0.00
2	0.44	0.54	0.48	0.20	7	0.51	0.60	0.51	0.00
列	0.56	0.57	0.62	0.00	列	0.52	0.55	0.58	0.00
	0.54	0.44	0.25	0.00		0.29	0.33	0.34	0.00
	0.77	0.79	0.53	0.20		0.46	0.50	0.36	0.00
	0.67	0.65	0.58	0.20		0.44	0.50	0.34	0.00

续表3

	C	M	Y	K		C	M	Y	K
	0.62	0.61	0.72	0.20		0.48	0.42	0.47	0.00
	0.49	0.45	0.65	0.20		0.38	0.42	0.43	0.00
	0.62	0.68	0.69	0.20		0.34	0.42	0.39	0.00
	0.63	0.75	0.81	0.40		0.45	0.44	0.46	0.00
第	0.36	0.44	0.41	0.00	第	0.59	0.58	0.59	0.00
3	0.26	0.17	0.33	0.00	8	0.64	0.68	0.79	0.20
列	0.48	0.38	0.52	0.00	列	0.48	0.52	0.55	0.20
	0.69	0.64	0.47	0.00		0.10	0.23	0.20	0.00
	0.60	0.54	0.35	0.00		0.26	0.36	0.30	0.00
	0.79	0.62	0.47	0.00		0.63	0.65	0.66	0.20
	0.44	0.53	0.52	0.20		0.51	0.49	0.44	0.00
	0.42	0.51	0.60	0.20		0.56	0.52	0.54	0.00
	0.62	0.70	0.64	0.20		0.57	0.60	0.51	0.00
	0.41	0.49	0.59	0.20		0.40	0.37	0.41	0.00
第	0.20	0.26	0.23	0.00	第	0.51	0.39	0.33	0.00
4	0.24	0.05	0.26	0.00	9	0.68	0.60	0.43	0.00
列	0.15	0.06	0.15	0.00	列	0.52	0.49	0.46	0.00
	0.24	0.33	0.14	0.00		0.18	0.20	0.18	0.00
	0.44	0.54	0.45	0.00		0.36	0.36	0.29	0.00
	0.59	0.54	0.38	0.00		0.52	0.51	0.61	0.20
	0.63	0.62	0.70	0.20		0.49	0.42	0.46	0.00
	0.59	0.60	0.59	0.00		0.51	0.54	0.54	0.20
	0.28	0.33	0.34	0.00		0.65	0.66	0.62	0.20
	0.58	0.59	0.60	0.00		0.51	0.57	0.48	0.00
第	0.68	0.72	0.61	0.20	第	0.36	0.38	0.28	0.00
5	0.71	0.59	0.60	0.00	10	0.40	0.34	0.29	0.00
列	0.54	0.43	0.55	0.00	列	0.38	0.40	0.29	0.00
	0.35	0.41	0.39	0.00		0.45	0.31	0.38	0.00
	0.43	0.22	0.37	0.00		0.36	0.29	0.22	0.00
	0.44	0.27	0.43	0.00		0.51	0.45	0.34	0.00

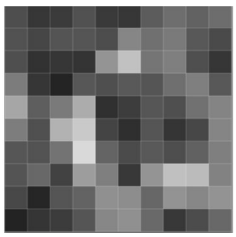

图3　经平面方程输出后的图像

Fig.3 Image outputs by the plane equation

$(\Delta b^2))^{1/2}$求出色差值。经计算、统计后得到：色块的平均色差为4.32，最小色差为0.51，最大色差为8.72。

4.3　其他色空间转换方法转换结果比对

将色块原始的$L^{*\prime}$，$a^{*\prime}$，$b^{*\prime}$值利用在做打印机线性化时的ICC特性文件，转换输出色块的C，M，Y，K值，使用同一打印机在相同实验条件下打印输出，同时采用4.2相同的方法测量色块的L^*，a^*，b^*值，并对比计算色差。经计算、统计后的结果为：色块的平均色差为3.87，最小色差为0.64，最大色差为7.36。

经比较，基于平面方程理论实现的L*a*b*到CMYK色空间转换与输出的图像虽没有现阶段广泛使用的ICC色彩管理的效果好，但也能达到工业生产的要求，且是一种新的思路。

4.4　实验误差分析

根据平面方程理论只是特征的选取了K为0，20%，40%，60%，80%，而实际图像K的取值范围0~100%均有可能存在，因此，转换时仅向这几个K值靠拢不够全面；拟合公式数据测量误差，因色标中色块数较多，一一测量时存在测量误差；由于平面方程拟合方程为一元二次方程，在实际求解过程中会出现值大于1、负数或虚数的情况，因此，用Matlab对方程解取值时也会出现误差；没有在输出图像后反过来对图像进行修正，如果发现有色差，可对方程进行加减一些修正系数，色差会小些。

5　结语

通过对设备线性化，输出色标求平均值，获得准确数据；提取相关数据，并由此建立了不同K值下的平面方程；根据平面方程拟合得出不同K值下的L*a*b*与CMYK色空间数学模型转换表达式，发现网点呈色的平面规律性；为验证平面方程的可行性，自行设计色块，经转换模型计算后输出图像，经计算色差得出色差范围合理。基于平面理论建立L*a*b*到CMYK色空间转换方程的方法可行，技术上应得到推广。

参考文献：

[1]　刘真，金杨. 印刷色彩学[M]. 北京：化学工业出版社，2007.
LIU Zhen，JIN Yang. Graphic Arts Chromatology[M]. Beijing：Chemical Industry Press，2007

[2]　刘武辉，胡更生，王琪. 印刷色彩学[M]. 北京：化学工业出

（下转第138页）

2002:119.
ZOU De-hua. Equipment Support Command Learning[M]. Beijing:National Defense University Press,2002:119.

[11] 李小东,王桥医.印刷机械传动系统动力学一般模型的建立及其数值仿真[J].包装工程,2003(6):42—44.
LI Xiao-dong WANG Qiao-yi. Printing the Establishment of the Mechanical Drive System Dynamics Model and its Numerical Simulation[J]. Journal of Packaging Engineering, 2003(6):42—44.

[12] 刘学.发泡聚乙烯包装系统动力学有限元分析[J].包装工程,2003,32(7):11—13.
LIU Xue. Polyethylene Foamed Packaging System Dynamics Finite Element Analysis[J]. Journal of Packaging Engineering, 2003,32(7):11—13.

[13] FERNANDES S,GRCIOÁ C,RAMOS C. Conductance in Discrete Dynamical Systems[J]. Nonlinear Dynamics, 2010, 61(3):435—442.

[14] GALVANTTO U,MAGRI L. On the Use of the Theory of Dynamical Systems Transient Problems[J]. Nonlinear Dynamics, 2013,74(1):373—380.

[15] ROZIKOV U A. A Multi-Dimensional-Time Dynamical System[J]. Qualitative Theory of Dynamical Systems,2013(12):361—375.

(上接第117页)

版社,2009.
LIU Wu-hui, HU Geng-sheng, WANG Qi. Graphic Arts Chromatology[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2009.

[3] 曹从军.色彩管理关键技术CIE $L^*a^*b^*$与CMYK变换算法的研究[D].西安:西北大学,2008.
CAO Cong-jun. Research on Color Management Key Technology of Transformation Algorithm from CIE $L^*a^*b^*$ to CMYK [D]. Xi′ an:Northweste University,2008.

[4] 解娴婷.$L^*a^*b^*$和CMYK色空间的相互转换模型的研究[D].南京:南京林业大学,2010.
XIE Xian-ting. The Study on $L^*a^*b^*$ and CMYK Color Space Transformation Model[D]. Nanjing:Nanjing Forestry University,2010.

[5] 康一.$L^*a^*b^*$到CMYK色彩空间转换的研究[D].西安:西安理工大学,2006.
KANG Yi. Research on Equation from $L^*a^*b^*$ to CMYK[D]. Xi′ an:Xi′ an University of Technology,2006.

[6] 徐敏,徐锦林.彩色印刷图像平面呈色模型的验证与应用研究[J].包装工程,2004,25(2):34—38.
XU Min, XU Jin-lin. The Research and Verification of Color Model[J]. Packaging Engineering,2004,25(2):34—38.

[7] 刘士伟,王辉.$L^*a^*b^*$到CMY转换方程的研究[J].包装工程,2007,28(12):86—88.
LIU Shi-wei, WANG Hui. Study of the Conversion Equation from $L^*a^*b^*$ to CMY[J]. Packaging Engineering,2007,28(12):86—88.

[8] 周祎.基于数码打样CMYK与$L^*a^*b^*$颜色空间转换模型的研究[D].西安:西安理工大学,2008.
ZHOU Yi. Research on the Conversion Model Between CMYK and $L^*a^*b^*$ Color Spaces Based on Digital proofing[D]. Xi′ an:Xi′ an University of Technology,2008.

[9] 刘士伟.$L^*a^*b^*$到CMYK转换方程的研究[D].西安:西安理工大学,2007.
LIU Shi-wei. The Research of Equation from $L^*a^*b^*$ to CMYK [D]. Xi′ an: Xi′ an University of Technology,2007.

[10] 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(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(12):89—90.

[11] 梁静,张立辉.数码打样色彩管理系统的研究[J].包装工程,2006,27(6):108—112.
LIANG Jing,ZHANG Li-hui. Research of Digital Proof Color Management System[J]. Packaging Engineering,2006,27(6):108—112.

[12] 李昕.基于MATLAB的数字图像处理[J].电脑知识与技术,2009,5(8):1979—1980.
LI Xin. Digital Image Processing Based on MAT LAB[J]. Computer Knowledge and Technology,2009,5(8):1979—1980.

[13] 苏金明,王永利.MATLAB实用指南[M].北京:电子工业出版社,2004.
SU Jin-ming, WANG Yong-li. A Practical Guide to the MAT LAB[M]. Beijing:Electronic Industry Press,2004.

[14] 胡细宝,孙洪祥,王丽霞.概率论/数理统计/随机过程[M].北京:北京邮电大学出版社,2004.
HU Xi-bao, SUN Hong-xiang, WANG Li-xia. Probability/Statistics/Random Process[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Publishing House,2004.

[15] 徐敏.$L^*a^*b^*$到CMY转换方程的研究[D].西安:西安理工大学,2003.
XU Min. The Research of Equation from $L^*a^*b^*$ to CMYK[D]. Xi′ an:Xi′ an University of Technology,2003.