

文章编号:1007-2780(2016)03-0317-07

# 空间细分插值的多色打印机分色算法

聂 鹏<sup>1</sup>,孔玲君<sup>1,2\*</sup>

( 1. 上海理工大学 出版印刷与艺术设计学院,上海 200093;  
2. 上海出版印刷高等专科学校,上海 200093)

**摘要:**研究多色打印机的反向光谱特征化,提出了一种空间细分插值的分色算法,提高了打印机颜色转换模型的精度。该算法结合颜色分区理论和胞元划分的方法,首先搜索目标颜色所属胞元空间,然后利用光谱纽介堡方程对胞元进行空间细分插值,并将满足阈值要求的插值点的通道信号值作为最终输出值。检测颜色样本的实验数据表明算法的分色精度高,平均色差达到 1.013 NBS。新算法能够实现多色打印机从光谱数据到通道信号值的准确转换。

**关 键 词:**空间细分;光谱纽介堡方程;颜色分区;查找表

**中图分类号:**TP391.9;TP334.8      **文献标识码:**A      **doi:**10.3788/JYXS20163103.0317

## Color separation algorithm of multi-color printer based on space subdivided with interpolation

NIE Peng<sup>1</sup>, KONG Ling-jun<sup>1,2\*</sup>

(1. *College of Communication and Art Design, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;*  
2. *Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China*)

**Abstract:** A color separation method based on gamut space subdivision with interpolation was proposed to improve the precision of the color conversion model for multi-color printer's inverse spectrum characterization. Firstly, the algorithm combined gamut partition theory with cell space division method to find the cell space of the target color. Then, the cell space was subdivided by using spectrum Neugebauer equation, and the interpolation point's channel signal which met the threshold requirement was regarded as the final output values. The experimental data of the tested color samples showed that the algorithm had high accuracy with the mean color differences of 1.013 NBS. New algorithm could realize the accurate conversion of the multi-color printer from spectral data to channel-signal values.

**Key words:** space subdivision;spectrum Neugebauer equation;color subarea;look-up table

收稿日期:2015-09-17;修订日期:2015-12-01.  
基金项目:国家自然科学基金—青年科学基金(No. 61301231)

Supported by National Natural Science Foundation of China(No. 61301231)

\* 通信联系人,E-mail:ljkong@sina.com

1 引言

随着打印机等数字输出设备的广泛应用,色彩管理的概念逐渐被一般用户所熟悉,使用者对颜色复制的要求也越来越严格。为了使颜色在不同设备中输出而不失真,就必须对这些设备进行准确的颜色特征化。打印机的特征化是指建立目标颜色和打印机墨水通道信号值之间的相互转换关系。其中,打印机的反向特征化,也称作打印机的分色,描述了目标颜色值到打印机墨水通道信号值的转换关系,仍是目前人们研究的热点和重点。

打印机的反向特征化方法又分为色度和光谱两种,是分别建立目标颜色色度值 CIE Lab 和光谱反射率数据到多色打印机通道信号值转换模型的方法。以往常用的四色打印机特征化模型中,从色度空间 CIE Lab 角度出发研究的方法较多,有结合三维查找表<sup>[1-2]</sup>、多项式回归<sup>[3-4]</sup>、神经网络<sup>[5-6]</sup>、纽介堡方程<sup>[7-9]</sup>等。对于多色打印机而言,由于基色数量的增加,不能直接应用这些方法进行分色。现有的多色打印机分色方法通常借鉴颜色分区理论<sup>[10]</sup>,在每个颜色分区单独创建分色模型。张桢杰<sup>[11]</sup>建立了基于分区多项式回归的多色复制模型,该方法在每个子区域内都需要创建回归关系,多项式项数的选择比较复杂。

光谱特征化模型通过记录完整的颜色信息,建立光谱反射率与多色打印机的通道信号值之间的转换关系,可以有效地避免同色异谱现象,提高颜色转换的精度。2006 年,Urban 和 Grigat<sup>[12]</sup>提出了一种基于线性回归的光谱纽介堡方程的逆向求解方法,提高了光谱特征化反向模型的精度,但方程求解过程需要反复迭代,效率很低。在此基础上,2011 年郭晋一<sup>[13]</sup>提出了动态胞元搜索方法,进一步提高了光谱特征化反向模型的效率,但需要采集大量的样本数据,计算量仍然很大,难以实际应用。

本文以多通道打印机为研究对象,基于色域划分原理,结合光谱纽介堡方程和空间细分插值的方法,提出了分区子空间细分插值的光谱分色方法,在满足阈值条件的情况下,寻找与目标颜色最接近的通道信号值作为最终颜色输出值,提高

了多色打印机特征化模型的反向分色算法的精度和效率。

2 原理

2.1 颜色分区

对于多通道打印机而言,根据颜色分区理论,可以根据打印机平面色域的形状,按照打印机通道基色在色域图中的位置,对打印机的色域进行划分。本文以 CMYKRGB 七色打印机为例,按照 M、R、Y、G、C、B 原色的色相角面将打印机色域划分成了 6 个分区子空间,分别是 MRK、RYK、YGK、GCK、CBK、BMK 子空间,如图 1。

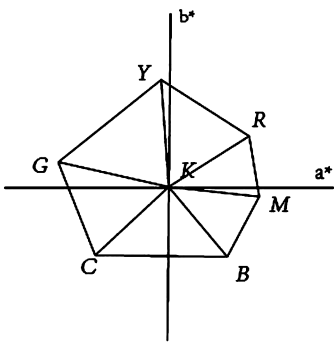


图 1 CMYKRGB 七色分区示意图  
Fig.1 Schematic diagram of CMYKRGB subareas

2.2 分区空间查找表的建立

为了避免全色域采集带来的颜色冗余和测量繁琐的问题,对多通道打印机色域进行划分后,并在每个子空间内单独采集样本。为减少样本测量的工作量,为特征化模型建立提供效率保障,选择对子空间内每个基色 0%~100% 数值进行  $n$  等分,每个分区需采集的样本数为  $n^3$ ,采集到的总样本数为  $m \times n^3$  个, $m$  为打印机色域分区的个数。将这些样本色块组织成色靶,在多通道打印机中输出。在输出样本组成色靶的基础上,利用测色仪器测量获得每个样本颜色块的光谱反射系数,形成一张从光谱数据到打印机通道信号值转换的查找表。

2.3 基于胞元划分的光谱纽介堡方程

Neugebauer 方程已经成为打印机特征化领域广泛应用的模型之一,而光谱 Neugebauer 方程是将颜色三刺激值替换为光谱信息值,与打印机通道信号建立转换关系的方程式。在实际应用

中,仅仅测量几个基本色作为训练样本而创建的模型的精度是远远不够的。

在光谱 Neugebauer 模型的基础上,对多通道打印机颜色空间进行胞元划分,通过测量更多的训练样本达到更高的精度。以七色打印机分区子空间 GCK 为例,将该子空间划分为多个小的胞元,然后对每一个小胞元分别应用经典 Neugebauer 方程进行预测。在 G,C,K 方向上分别划分为  $g_1, g_2, \dots, g_n, c_1, c_2, \dots, c_n, k_1, k_2, \dots, k_n$  共组合为  $(n-1)^3$  个胞元。对于给定的一组通道信号配比信息  $(g, c, k)$  进行预测时,首先要找到该目标颜色点所属的胞元,即满足判定条件  $g_i < g < g_{i+1}, c_i < c < c_{i+1}, k_i < k < k_{i+1}$ , 见图 2, 然后运用式(1)对目标颜色的通道信号配比值重新归一化,再应用光谱 Neugebauer 方程预测光谱反射系数。

$$g_n = \frac{g - g_i}{g_{i+1} - g_i}, c_n = \frac{c - c_i}{c_{i+1} - c_i}, k_n = \frac{k - k_i}{k_{i+1} - k_i},$$

(1)

其中,光谱 Neugebauer 方程可以表示为:

$$\begin{aligned} S = & [(1 - c_n)(1 - g_n)(1 - k_n)r_1(\lambda)^{1/n} + \\ & c_n(1 - g_n)(1 - k_n)r_2(\lambda)^{1/n} + \\ & (1 - c_n)g_n(1 - k_n)r_3(\lambda)^{1/n} + \\ & c_ng_n(1 - k_n)r_4(\lambda)^{1/n} + \\ & (1 - c_n)(1 - g_n)k_nr_5(\lambda)^{1/n} + \\ & c_n(1 - g_n)k_nr_6(\lambda)^{1/n} + \\ & (1 - c_n)g_nk_nr_7(\lambda)^{1/n} + c_ng_nk_nr_8(\lambda)^{1/n}]^n \end{aligned},$$

(2)

其中,  $g, c, k$  是目标颜色点在 GCK 子空间的三原色 G、C、K 的通道信号值,  $r_1(\lambda)$  是子空间中各基色的光谱反射系数,  $i = 1, 2, \dots, 8$ ,  $S$  为目标的光谱反射系数预测值,  $n$  为尤尔尼尔森修正指数。

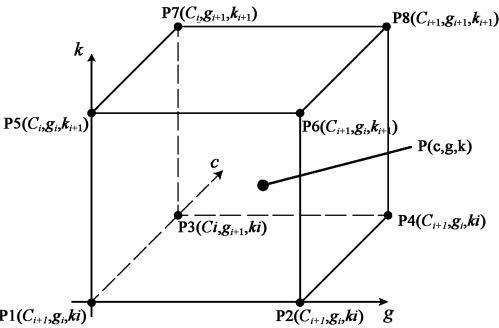


图 2 GCK 子空间样本颜色的胞元

2.4 分区子空间的光谱分色算法设计

本文结合指数函数修正光谱组介堡的插值方法和子空间细分来得到目标颜色的通道信息值。具体方法是将插值得到的光谱数据和目标光谱进行比较,当色差小于阈值 3 时,以插值点的通道信号值作为最终目标颜色的信号值输出。算法主要有 5 个步骤,具体实施流程如图 3 所示。

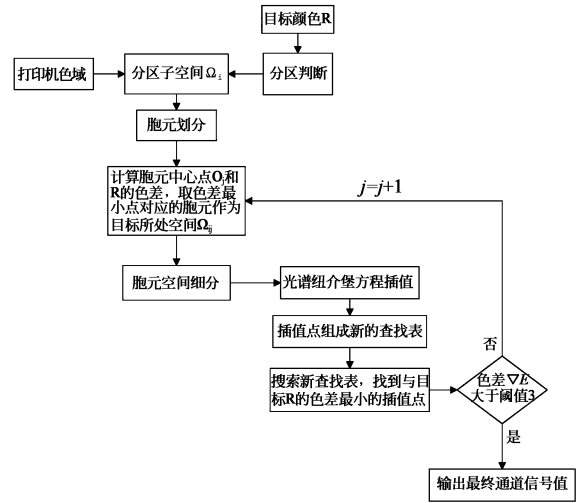


图 3 分区子空间的分色算法流程图

Fig. 3 Flow chart of color separation algorithm in subareas

(1) 利用测色仪器测量目标颜色的光谱反射系数,记为  $R$ 。大部分测色仪器都可以测量颜色在  $380 \sim 760 \text{ nm}$  波长范围内,以  $10 \text{ nm}$  为间隔的光谱反射系数值。

(2) 根据色度学知识,将目标颜色的光谱值转换至 CIE Lab 色度空间,记为  $P$ 。根据目标颜色  $P$  的色相角,判断其处于哪一个子空间内,将目标颜色所处的子空间记为  $\Omega_i, i = 1, 2, \dots, m, m$  表示多通道打印机色域分区子空间。

(3) 结合  $\Omega_i$  分区子空间的查找表数据,对  $\Omega_i$  子空间进行胞元划分,将三维查找表的数据存放在  $10 \times 10 \times 10 = 1\,000$  个胞元立方体中,每个胞元记录了立方体 8 个顶点的通道信号值和光谱数据。

(4) 设定胞元假想中心点,确定目标所处胞元。胞元中心点的光谱值取立方体顶点数据的平均值,记为  $O_j, j = 1, 2, \dots, 1\,000$ ,表示子空间内的第  $j$  个胞元的假想中心点。计算目标颜色与胞元假想中心  $O_i$  点的色差,取色差最小中心点对应的胞元立方体为目标颜色所处空间  $\Omega_{ij}$ 。空间  $\Omega_{ij}$  和

Fig. 2 Sample color's cell space in GCK subarea

分区子空间  $n_i$  的关系可以表示为

$$\Omega_i = \sum_{j=1}^{1000} \Omega_{ij}, i = 1, 2, \dots, 6. \tag{3}$$

(5)对目标所处空间  $\Omega_{ij}$  进行  $N$  级细分,细分后的三通道值随机组合可产生许多新节点,可构成空间  $\Omega_{ij}$  的样本集,其中样本的三通道信号值由  $\Omega_{ij}$  的顶点插值得到,而光谱值可通过光谱组介堡方程计算得到。这样插值点的三通道信号值对应其光谱信息可产生新的查找表。

(6)搜索新的查找表,找到与目标颜色的色差最小点,如果色差小于阈值 3,将该点的三通道值认定为最终的输出值,反之将搜索空间  $\Omega_{ij+1}$ ,并重复步骤 4~6,寻找目标颜色的通道信号输出值。

3 实验与结果分析

3.1 建立打印机分色模型

本文以 HP Design jet 23200 七色打印机为实验对象,以 Eye-one 为光谱数据测量所需的测色仪器。对打印机色域进行划分后,实验在每个子空间内对每个基色 0%~100%数值进行 6 等分,在每个分区内需采集的样本数为  $6^3$ ,采集的总样本数为  $6 \times 6^3 = 1\,296$  个。将这些样本色块组织成色靶,在 HP Design jet 23200 打印机中输出,并利用测色仪器测量获得每个样本颜色块的光谱反射系数。采用本文提出的算法,结合训练样本颜色的通道信号值和光谱反射系数数据建立 HP Design jet 23200 打印机的分色模型。

3.2 最佳空间细分等级的确定

对 HP Design jet 23200 打印机反向建模后,为平衡算法计算效率和预测精度,需要对打印机色域子空间的细分等级  $N$  进行选择。在打印机 6 个色域子空间中均匀地选择了 240 个样本颜色进行实验,结果发现当细分等级为 5 级时,样本色块预测值和测量值的平均色差在 0.8 左右,算法分色精度高,计算时间快。不同细分等级的模型色差见表 1。

3.3 新算法的精度分析

检测样本的采集方法与训练样本相似,利用前文描述的分区采样方法建立检测样本集,检测样本集的取样间隔为 25%,每个分区采集  $5^3 = 125$  个样本,由此基于打印机全色域组合得到  $6 \times 125 = 750$  个检测样本,打印检测样本集组成的

表 1 不同细分等级的反向模型色差和计算时间

Tab.1 Color difference and calculating time of inverse model with different subdivision levels

|     | 最大色差  | 最小色差  | 平均色差  | 总用时/s |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 3 级 | 4.347 | 0.28  | 2.356 | 13.14 |
| 4 级 | 4.263 | 0.313 | 1.942 | 15.49 |
| 5 级 | 3.323 | 0.236 | 0.821 | 18.39 |
| 6 级 | 2.959 | 0.058 | 0.815 | 39.73 |
| 7 级 | 2.692 | 0.044 | 0.812 | 49.58 |

色靶,并测量其光谱信息值用于检验模型分色算法的精度。对 750 个检测样本的光谱数据,先判断其属于打印机的哪个分区空间,选择所处色域空间的查找表,运用本文提出的空间细分的插值方法,计算插值点的光谱信息和通道信息值,选取与目标最接近的插值点,计算该插值点与目标颜色的色差,如果色差大于阈值 3,则在相邻子空间进行细分插值;反之,将符合条件的插值点的通道信号值认定为最终输出值。

比较检测样本光谱系数测量值和光谱反射系数预测值的色差,计算样本的平均色差为 1.013,最大色差为 2.987,图 4 给出了本文算法和文献[8]中的优尔尼森光谱组介堡(YNSN)算法模型的 750 个检测样本的色差累计相对频率分布图。表 2 给出了本文算法和文献[8]中的 YNSN 算法模型的 750 个检测样本的光谱误差比较。

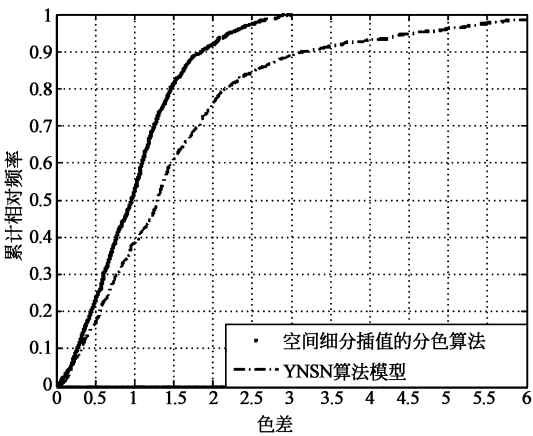


图 4 检测样本反向模型色差分布柱状图

Fig. 4 Color difference distribution histogram of inverse model with test samples

表 2 750 个检测样本的光谱误差  
Tab. 2 Spectral error with 750 test samples

| Color separation | Spectral RMS error |       |       |
|------------------|--------------------|-------|-------|
|                  | Mean               | Std   | Max   |
| YNSN model       | 0.024              | 0.011 | 0.134 |
| 空间细分插值的分色方法      | 0.010              | 0.005 | 0.075 |

从图 4 中可以看出,750 个检测样本采用本文算法进行分色,100%的色块的色差能够保持在 3.0

以下,而采用文献[8]的 YNSN 算法模型,只有 89%的色块的色差能够保持在 3.0 以下,说明本文算法的分色效果好,能够保证较高的分色精度。由表 2 可以看出,与 YNSN 分色算法模型相比,本文提出的分色算法的光谱平均误差和最大误差分别减小了 0.014 和 0.059,说明本文提出的分色新算法能有效降低打印机分色的光谱误差。

此外,实验同时选择了文献[11]和文献[14]中的方法与本文算法进行对比,实验结果见表 3。

表 3 分色算法的 6 个分区子空间实验结果  
Tab. 3 Experimental results of color separation algorithm in 6 subareas

| 算法                              | GGK      |          | YGK      |          | RYK      |          | MRK      |          | BMK      |          | CBK      |          |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                 | 最大<br>色差 | 平均<br>色差 | 最大<br>色差 | 平均<br>色差 | 最大<br>色差 | 平均<br>色差 | 最大<br>色差 | 平均<br>色差 | 最大<br>色差 | 平均<br>色差 | 最大<br>色差 | 平均<br>色差 |
| 5×5×5 组介堡方程 <sup>[11]</sup>     | 4.28     | 1.56     | 6.74     | 1.52     | 9.68     | 1.25     | 3.85     | 0.72     | 4.02     | 1.15     | 3.38     | 1.11     |
| 5×5×5 多项式回归 <sup>[11]</sup>     | 4.23     | 0.85     | 4.96     | 1.12     | 4.81     | 0.95     | 4.74     | 0.90     | 4.87     | 0.78     | 4.33     | 1.10     |
| 基于分区空间的<br>复制算法 <sup>[14]</sup> | 4.87     | 1.14     | 3.21     | 1.03     | 3.26     | 0.87     | 4.03     | 1.39     | 3.44     | 1.05     | 3.51     | 1.07     |
| 本文算法                            | 2.67     | 0.78     | 2.18     | 0.84     | 2.99     | 1.36     | 2.96     | 1.11     | 2.89     | 1.07     | 2.80     | 0.88     |

由表 3 可知,本文算法在打印机 6 个分区的精度较好,其中 GCK、YGK、CBK 三个分区的平均色差都小于 1,与现有的 3 种色度分色算法相比,具有较明显的优势;MRK 和 BMK 两个分区的平均色差都接近 1;RYK 子分区的最大色差和平均色差相比其他分区稍大,考虑其原因,可能是由于 YRK 色空间的色域体积较大,在此分区采集的训练样本数不够造成的。在稳定性方面,本文算法的最大色差相对稳定且保持在 3.0 以下,相对其他 3 种分色算法在打印机的 6 个分区中的最大色差均为最优。

3.4 分色效果的主观评价

本文设计主观评价实验,对 HP Design jet 23200 打印机分色算法模型的实际应用效果进行分析与评价。首先,实验从 750 个检验样本颜色色块中,分别在彩色打印机色域平面的 C/M/Y/K/R/G/B 七个方向上,按照 25%、50%、75%的阶调变化,选取了共 21 个颜色色块作为评价对象,然后评价实验在暗示环境下,选择 5 男 5 女共 10 个颜色视觉正常的观察者,在实验室的 Mac-

beth The Judge II 的观察橱柜中,光源为 D50 的条件下,按照表 4 的评价尺度对 21 个检验样本的原始色块和模型分色结果的颜色差别进行评价打分。最终,色块的最终得分按照 10 人的评分取平均值。表 5 给出了 21 个颜色色块的主观评价结果分布统计。

表 4 目视观察评价实验色差等级划分表  
Tab. 4 Color difference grading table in the evaluation experiment with visual observation

| 颜色感觉                            | 得分 | 评价等级 |
|---------------------------------|----|------|
| 与原始色块无可察觉的差别感受                  | 5  | 非常好  |
| 与原始色块有恰可察觉的差别感受,                | 4  | 好    |
| 与原始色块有微弱的差别感觉,<br>但可以确定其存在      | 3  | 一般   |
| 与原始色块差别感觉稍明显,<br>但仍认为差别在可接受的范围内 | 2  | 差    |
| 与原始色块有明显差别感觉,<br>差别不可接受         | 1  | 非常差  |

由表 5 可知,21 个颜色样本中,90.5%颜色色块与原图有微弱的差别感觉,虽然 9.5%的颜色色块与原图差别稍感明显,但仍可认为差别在可接受的范围内。实验结果表明,本文提出的空间细分插值分色算法能够满足打印机分色的要求。

表 5 色块的主观评价结果表

Tab. 5 Subjective evaluation score table with 21 color samples

| 评价等级 | 色块数 | 所占比例/% |
|------|-----|--------|
| 非常好  | 5   | 23.8   |
| 好    | 10  | 47.6   |
| 一般   | 4   | 19.1   |
| 差    | 2   | 9.5    |
| 非常差  | 0   | 0.0    |

4 结 语

文中提出了一种基于分区子空间的空间细分插值的光谱分色算法,通过对多色打印机的色域空间划分,采集不同子空间的训练样本,判断目标点所处的子空间胞元,运用空间细分和光谱组介堡方程对检测样本的光谱值进行插值逼近,将最终满足色差阈值要求的插值点的通道信号值作为最终输出值。本文算法与一些色度分区分色算法相比,有较优的分色精度,且能保证目标颜色的分色色差在 3.0 以内。新算法兼顾了颜色分区、胞元划分和空间细分插值的特点,拥有较高的精度和稳定性,可以应用于打印机的光谱信息和通道信号值的颜色空间转化过程中。

参 考 文 献:

[1] 黄庆梅,赵达尊.一种彩色打印机标定的预测查找方法[J].北京理工大学学报,2003,23(5):601-603.  
HUANG Q M, ZHAO D Z. A prediction-approaching method for the calibration of color printers [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2003, 23(5): 601-603. (in Chinese)

[2] 裴闯,蒋晓瑜,王加,等.自然彩色化双通道实时图像融合系统[J].光学精密工程,2013,21(5):1333-1339.  
PEI C, JIANG X Y, WANG J, *et al.* Dual-channel real-time image fusion system with nature color [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(5): 1333-1339. (in Chinese)

[3] 徐艳芳,刘文耀,左坤隆,等.彩色扫描仪的特征化[J].光学精密工程,2004,12(1):15-19.  
XU Y F, LIU W Y, ZUO K L, *et al.* Characterization of color scanners [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2004, 12(1): 15-19. (in Chinese)

[4] 王勇,徐海松.基于多项式回归模型的扫描仪色度特征化[J].光学学报,2007,27(6):1135-1138.  
WANG Y, XU H S. Colorimetric characterization for scanner based on polynomial regression models [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(6): 1135-1138. (in Chinese)

[5] 杨怀江.混沌光学系统之快速神经网络自适应控制研究[J].光学精密工程,1997,5(1):22-27.  
YANG H J. Quick adaptive control of optical dynamic systems with neural networks [J]. *Optics and Precision Engineering*, 1997, 5(1): 22-27. (in Chinese)

[6] 张少迪,王廷杰,孙宏海.三角剖分以及径向基函数神经网络在星图识别中的应用[J].光学精密工程,2012,20(2):395-402.  
ZHANGS D, WANG Y J, SUN H H. Application of triangulation and RBF neural network to star pattern recognition [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2012, 20(2): 395-402. (in Chinese)

[7] ZENG H Z, ANDERSON P G. Expanded neugebauer model for printer color formation[C]. *Proceedings of the Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts IV*. San Jose, CA: SPIE, 1999: 27-36.

[8] 金崇超,沈会良,邵思杰,等.一种彩色喷墨打印机的颜色特性化方法[J].光学学报,2011,31(12):1233001.  
JIN C C, SHEN H L, SHAO S J, *et al.* Characterization method for colorful inkjet printers [J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, 31(12): 1233001. (in Chinese)

[9] 黎新伍,郝重阳,樊养余,等.一个基于 Neugebauer 方程的输入图像色彩误差校正模型[J].仪器仪表学报,2004,25

(4):498-500.

LI X W, HAO C Y, FAN Y Y, *et al.* A color error correction model for input image based on neugebauer equation [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2004, 25(4): 498-500. (in Chinese)

[10] 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,2010,38(3):507-511.  
WANG Y F, ZENG P, WANG Y, *et al.* Multi-channel printer characterization based on gamut partition [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2010, 38(3): 507-511. (in Chinese)

[11] 张桢杰,刘真,吴明光. 基于子空间划分的多项式回归多色分色算法[J]. 包装工程,2013,34(7):65-67,76.  
ZHANG Z J, LIU Z, WU M G. Polynomial regression multi-color separation method based on subspace partition [J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34(7): 65-67, 76. (in Chinese)

[12] URBAN P, GRIGAT R R. Spectral-based color separation using linear regression iteration [J]. *Color Research and Application*, 2006, 31(3): 229-238.

[13] GUO J Y, XU H S, Luo R M, *et al.* Spectral characterisation of colour printer based on a novel grey component replacement method [J]. *Chinese Optics Letters*, 2011, 9(7): 073301-073304.

[14] 刘攀,刘真,朱明. 基于区分空间的多色打印机通道信号复制方案[J]. 电子学报,2015,43(1):69-73.  
LIU P, LIU Z, ZHU M. The channel-signal reproduction of multi-color printer based on gamut partition iterative subdivision [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2015, 43(1): 69-73. (in Chinese)

**作者简介:**聂鹏(1991—),男,湖北黄冈人,硕士研究生,主要研究方向为颜色科学技术和色彩管理。E-mail:951415464@qq.com

孔玲君(1972—),女,浙江人,博士,教授,主要研究方向为图文信息处理与色彩再现、数字印刷及质量评价等。E-mail:ljkong@sina.com