

## 多通道分色模型中的特征色样筛选研究

朱明, 李瑞娟

(河南工程学院, 郑州 450007)

**摘要:** 提出了一种基于颜色相关性的特征色样筛选方法。首先利用特征色样色料分布(网点面积率)间的相关系数,从 CMYKGO 全色域采样生成的大量特征色样中,筛选出一部分具有相似网点面积率分布的特征色样,然后利用筛选后的最佳特征色样构建分色模型。新方法能够在不影响分色精度的前提下,有效减少特征色样的使用数量,且在暗调区域有效利用了所有色料通道,因此比传统的采样分色方法能够再现更大的色域。

**关键词:** 特征色样; 颜色相关性; 分色模型

**中图分类号:** TS801.3; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)09-0071-05

## Research on Selection of Characteristic Color Samples for Multi-color Separation

ZHU Ming, LI Rui-juan

(Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** A selection method of characteristic color samples based on color correlation was put forward. The color correlation factors between colorant amount distributions of characteristic color samples were used to select a part of color samples having similar colorant amount distributions from the massive characteristic color samples generated by the whole CMYKGO gamut sampling; the optimum color samples after selection were used to establish color separation model. On the premise of not influencing the color separation precision, the new method can reduce the number of characteristic color samples effectively, and all colorants in dark regions are efficiently used, so it can reappearance larger color gamut than conventional method.

**Key words:** characteristic color samples; color correlation; color separation model

彩色喷墨打印技术的飞速发展对颜色信息的高保真复制提出了更高要求。按照所用颜色通道的不同,当前应用的彩色喷墨打印设备可分为 2 类:即主色通道打印机(如 CMYKOG, CMYKRGB 打印机)和主色+浅色通道打印机(如 CMYKLcLmLyLk 打印机, Lc, Lm, Ly, Lk 分别代表青、品、黄、黑 4 个浅色通道)<sup>[1-2]</sup>。多通道喷墨打印设备的应用不仅有效降低了印刷图像的颗粒度,丰富了图像层次,而且还扩大了图像的色域范围,从而提高颜色复制的准确度,但色料通道数量的增加也对打印机的分色工作造成了一些困难。

彩色打印机的分色方法一般可以分为经验模型

法和分析模型法<sup>[1]</sup>。分析模型法优点是无需大量的特征色样测量数据,但准确性较低。与此相反,经验模型法准确性较高,但需要打印测量大量的特征色样<sup>[3]</sup>,因此经验模型法一般用于颜色通道数较少的打印设备。如果通道数较多(如 CMYKOG 打印机),还可能会出现如下问题:①所需特征色样数量呈指数级地增加;②在这些特征色样中,有可能存在具有相同 CIELAB 值的重复色样;③另外在设计打印特征色样时,还有可能产生墨渍(ink blot)问题,即印品上每个网点区域所能承受的油墨量是有限的,如果所印油墨过量,则会产生网点间的油墨堆叠。该问题可以通过色域划分并在每个色域分区内分别设计特征颜色样

**收稿日期:** 2013-02-26

**项目资助:** 2012 年度河南省教育厅自然科学研究重点项目(12A510004)资助;2011 年河南省科技厅科技攻关计划项目(112102210017)资助;2013 年河南工程学院博士基金项目资助

**作者简介:** 朱明(1983-),男,博士,河南工程学院讲师,主要研究领域为颜色再现理论与应用(色貌模型与颜色管理)。

本集来解决。虽然色域划分法能够使用有限数量的色料来表示 CIELAB 颜色空间的某一部分色域,消除特征色样重叠问题和降低特征采样点的数量,但以 CMYKOG 通道打印机为例,由于色域划分而导致墨色限制 (ink restriction),使得该方法无法在图像暗调区域利用 CMYKOG 全色域来进行颜色复制。前期实验发现该方法在图像暗调区域很难复制出高饱和度的颜色,颜色复制效果不佳。由此,为了能够利用 CMYKOG 全色域进行打印复制,仍然需要解决以上这些问题。

针对存在的问题,提出了一种用于多通道打印机分色的最佳特征色样筛选方法。与基于色域分区的采样方法相比,新方法采用全色域采样方案,利用颜色相关性从 CMYKOG 全色域采样产生的大量特征色样中筛选出一部分具有相似网点面积率分布的特征色样,最后利用筛选后的最佳特征色样构建分色模型。

## 1 总体方案

以 CMYKOG6 通道喷墨打印机为研究案例,所采用的最佳特征色样筛选方案见图 1: ① 首先对

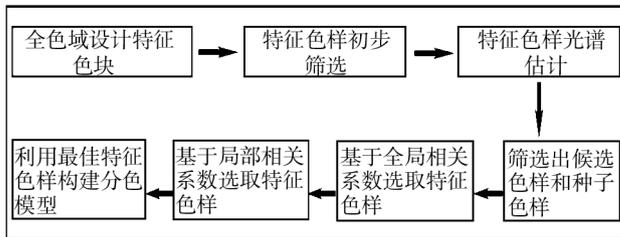


图 1 最佳特征色样筛选方案

Fig. 1 The selection method for the optimum characteristic color samples

CMYKOG 6 个网点面积率通道进行全色域等间隔采样生成特征颜色样本集,并通过估计总墨量来排除那些可能产生墨渍的色样;②然后使用胞元光谱纽介堡 (CYNSN) 模型估计特征色样的光谱反射系数,并根据估计的光谱反射系数计算特征色样的 CIEXYZ 三刺激值和 CIELab 色度值;③为了筛选出均匀分布于 CIELab 颜色空间中的最佳色样集合,将 Lab 颜色空间划分成一个均匀的“窗格框架”,并为每个窗格点选取一个种子色样和若干个候选色样<sup>[4]</sup>;④通过全局相关系数和局部相关系数,从每个窗格的所有候选色样

中筛选出该窗格的最佳特征色样;⑤打印测量筛选后的特征色样,利用测量值构建分色模型。

## 2 方案具体实现

首先需要生成特征颜色样本集,具体方法:如果将 CMYKOG 6 个通道的采样间隔均设置为 15%,那么每个通道就会产生 8 个采样区间,分别为 0, 15%, 30%, 45%, 60%, 75%, 90%, 100%。全色域 6 个通道就可产生 262144(8<sup>6</sup>)个采样点。

### 2.1 特征色样初步筛选

实验所用打印机为 EPSON STYLUS PRO 7910 六通道喷墨打印机,采用 EFI COLORPROOF 线性化流程对该打印系统进行总墨量估算,打印介质采用“180 g 高光写真相纸”。估算所得的全通道最大总墨量为 220。根据该总墨量限制对生成的 262 144 个采样点进行初步筛选,将网点面积率总和在 220 以上的采样点移除,剩余的 43 968 个色样为待选色样。

### 2.2 反射系数估计

胞元光谱纽介堡 (CYNSN)<sup>[5]</sup> 模型可以根据色样的网点面积率估算出光谱反射系数,比传统纽介堡模型具有更高的精度。在 CYNSN 模型中,由于油墨总量的限制,部分胞元的基色无法打印和测量。为了解决这个问题,需要对 CYNSN 模型进行色域分区<sup>[6]</sup>。在分区后的 CYNSN 模型中,任何一个颜色都可以用该分区对应的 3 个基色来复制,因此使用分区后的 CYNSN 模型来估计待选色样的光谱反射系数可以避免基色打印时出现的油墨堆叠现象。式(1)为某个颜色分区内某个胞元的 CYNSN 模型,其中  $F_i$  为色元面积表达式,  $R_{\lambda,i}$  为基色的光谱反射系数,  $n$  为对应该分区的模型修正系数。

$$R_{\lambda} = \left( \sum F_i R_{\lambda,i}^{1/n} \right)^n \quad (1)$$

对 CYNSN 模型各颜色分区均采用 4 等级胞元划分,每个分区共有 64(4<sup>3</sup>)个胞元。因此对应 6 色喷墨打印系统共可得到 2560(64×5×8)个胞元基色。选用 EPSON STYLUS PRO 7910 六通道 (CMYKOG) 喷墨打印机,采用 EFI ColorProof 线性化流程打印测量所有胞元基色,图 2 显示了 KCM 分区内胞元“K(0-25)C(0-25)M(0-25)”的 8 个基色。使用获得的所有胞元基色构建每个分区每个胞元的 CYNSN 模型,并根据模型预测的待选色样光谱反射系数计算其 CIEXYZ

三刺激值和 CIELab 色度值。



图2 胞元“K(0-25)C(0-25)M(0-25)”的8个基色

Fig.2 Eight primary colors of the cell "K (0-25) C (0-25) M (0-25)"

### 2.3 窗格划分和种子色样的提取

在对色样做进一步筛选前,需要一组规则分布且与输入颜色点具有较短空间距离的色样作为候选色样。将 CIELab 颜色空间划分成一个均匀规则的窗格框架。窗格框架划分的越密,窗格就越多,筛选后的色样也就越多,但计算量也越大。在每个窗格里,与其窗格点具有对称空间距离的色样被选为该窗格点处的候选特征色样,使用式(2)来计算颜色点之间的空间距离。文中对 CIELab 颜色空间中窗格框架的具体划分方法是:L(0:100)坐标轴窗格点间隔设置为12.5,共划分9个窗格点。 $a, b(-128:127)$ 轴窗格点间隔均设置为12.75,共划分21个窗格点,最终的窗格框架中共有3969(9×21×21)个窗格点。

$$d = \sqrt{(L_l - L_s)^2 + (a_l - a_s)^2 + (b_l - b_s)^2} \quad (2)$$

候选色样确定后,需要从这些候选色样中选择一个最佳色样代表该窗格。由于人眼视觉系统对中性灰附近的色差比较敏感,因此需要在亮度轴上选择合适的种子色样用于与候选色样进行比较。具体方法是:利用 CMYK 中性灰平衡技术计算生成打印系统的灰平衡曲线(横坐标为油墨网点面积率值,纵坐标为亮度值),用于提取曲线上某个亮度值对应的网点面积率组合,即所谓的种子色样。图3显示了候选色样和种子色样的提取过程。

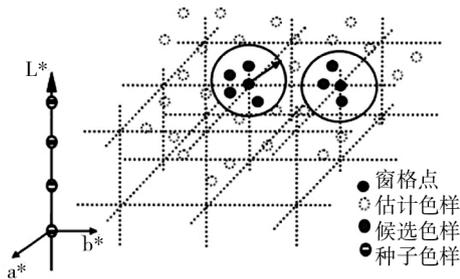


图3 候选色样和种子色样的提取过程

Fig.3 The extraction process of candidate samples and seed samples

### 2.4 全局选择方法

全局选择方法用于选择 CIELab 颜色空间中与相邻色样具有相似网点面积率分布的特征色样。与窗格框架的划分方法相对应,将亮度轴 L(0-100)也等间隔划分9个亮度级。利用上步计算生成的中性灰曲线计算每个亮度级对应的网点面积率组合。假设亮度轴上某个亮度级对应的6油墨色网点面积率组合  $l\{lc, lm, ly, lk, lg, lo\}$  为种子色样,依次计算位于相同亮度平面的所有窗格点的候选色样  $c = \{cc, cm, cy, ck, cg, co\}$  与种子色样  $l$  之间的相关系数。如果  $l$  和  $c$  的元素值相似,那么该相关系数的取值就会很大,因此选择具有最高相关系数值的候选色样作为该窗格点对应的最佳色样。可以使用式(3)来计算矢量  $l$  和  $c$  的均值和方差。其中  $\mu, \sigma$  分别代表均值和方差,然后使用式(4)计算  $l$  和  $c$  的相关系数。

图4解释了全局选择方法的原理。假设一个窗

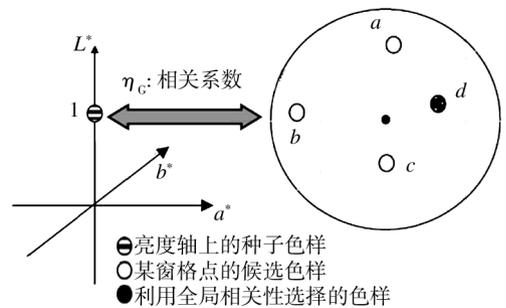


图4 全局选择方法的原理

Fig.4 Principle of the selection method by global correlation

格有4个候选色样(a, b, c, d),种子色样  $l$  与该窗格点位于相同的亮度平面,使用式(4)计算种子色样和候选色样间的相关系数,如果候选色块  $d$  的相关系数值最高,将被选作窗格点。其它窗格色样点的选择与此类似。

$$\mu_l = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 l_i, \mu_c = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 c_i$$

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (l_i - \mu_l)^2}, \sigma_c = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (c_i - \mu_c)^2} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (s_i - \mu_l)(l_i - \mu_c)}{\sigma_l \cdot \sigma_c} \quad (4)$$

### 2.5 局部选择算法

使用全局选择方法可以为每个窗格点选择一个最佳色样,然而,如果某个窗格点对应色样的全局相

关系系数比相邻窗格点所选色样的关系系数小得太多,那么认为此窗格点的对应色样不可靠,需要重新为该窗格点选择色样。可以计算某个亮度平面上全部所选色样的关系系数均值,该值可作为该亮度平面对应的色样选择标准。如果某个窗格点所选色样的关系系数低于该标准,那么将使用局部选择算法为该窗格点选择新色样。

图5显示了局部选择算法的原理。如果存在一

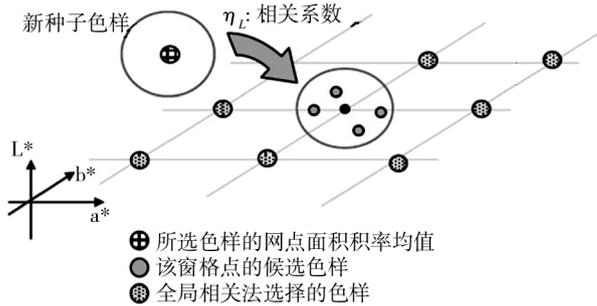


图5 局部选择算法的原理

Fig. 5 Principle of local selection algorithm

个低相关系数的窗格点,那么通过对相邻窗格点具有高相关系数的所选色样的色料量取平均值来生成新的种子色样,如式(5)。将该窗格点附近的8个方向作为考虑对象。其中, $C_{s,n}$ 为使用全局相关系数选择的候选色样,且具有较高的关系系数, $n$ 为该窗格点附近具有高相关系数的窗格点数量。然后使用该窗格点的新种子色样来计算关系系数,选择具有高关系系数值的色样作为新色样。

$$s_n = \frac{1}{n} (c_{s,1} + c_{s,2} + c_{s,3} + c_{s,4} + \dots + c_{s,n}) \quad (5)$$

## 2.6 构建分色模型

通过CMYKOG6通道全色域采样产生了262 144个采样点,经过总墨量限制的初步筛选后还剩余43 968个待选色样。由于对CIELab颜色空间划分的窗格框架中共有3 969(9×21×21)个窗格点,那么对应每个窗格点具有一个特征色样,最终将筛选出3969个最佳特征色样,对这些特征色样进行打印测量,获得其CIELab色度值构建分色模型。图6显示了文中采用的分色算法流程:①根据特征颜色样本集的Lab色度值,计算打印色域边界;②根据特征样本数据,采用多项式拟合法构建从色度值到网点面积率值的数学模型;③在CIELab颜色空间内以适当间隔进行全通道采样,创建分色模型的输入样本集;④依次判断输入样

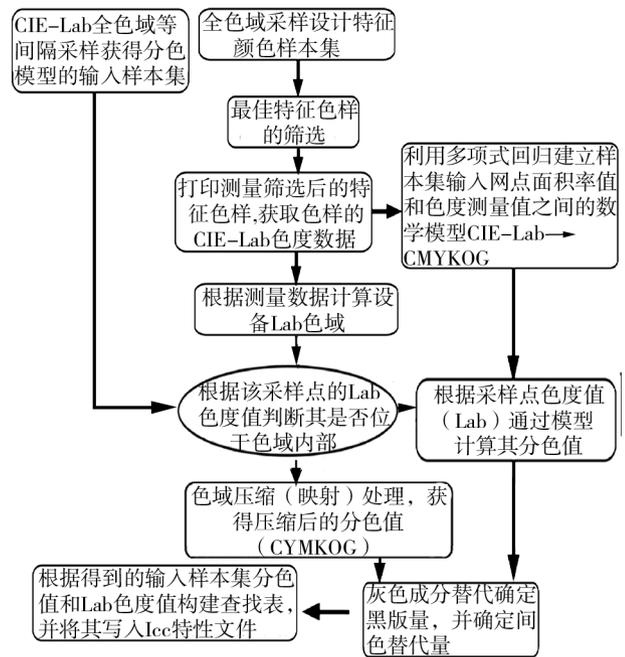


图6 分色算法流程

Fig. 6 Flowchart of color separation algorithm

本集中每个样本点是否位于目标打印色域内,如果不在色域内,则对其进行色域压缩处理,得到压缩后的Lab色度值;⑤将该样本点的Lab色度值代入步骤②的数学模型计算其网点面积率值;⑥根据输入样本集的Lab色度值和网点面积率值创建分色查找表<sup>[7]</sup>。

## 3 方法评价结果及分析

### 3.1 色差评价

为验证该色样筛选方法的有效性,分别采用基于最佳色样筛选的全色域采样方法和分区采样方法<sup>[8]</sup>制作特征颜色样本集,依据这2种方法制作的特征颜色样本集,采用图6所示的算法流程构建分色模型。然后将检测样本的CIELab色度值作为目标值,分别使用上述2种采样分色方法计算检测样本的分色网点面积率值,将计算的CMYKOG网点面积率值重新打印输出并测量,得到检测样本的CIELab分色预测值。最后,通过比较目标值和分色预测值之间的色差来测试使用新采样方法的分色模型的准确性。

CMYKOG分区采样方法:对每个分区的3个颜色通道都采用9级非均匀分割,即采用[0, 15, 30, 45, 60, 70, 80, 90, 100]的网点面积率组合,因此每个分区可产生729(93)个颜色样本,5个分区共产生3645个样本点。

检测样本:选择“X-Rite”PM 颜色管理软件配套使用的 TC918 色标(如图 7 所示),该色标共包含 918 个色块,基本覆盖可见光色域内的所有色相、明度和彩度范围。

打印设备:选用 Epson Stylus Pro 9910 11 通道 (CMYKOG LcLmLkLLkCk) 打印机,使用 EFI Colorproof XF 软件对打印机做基础线性化控制,特征样本和检测样本都使用此基础线性化流程进行打印输出。打印介质选用“180g 高光写真相纸”。

表 1 列出了使用上述 2 种采样分色方法打印测

表 1 色差比较

Tab.1 Comparison of color difference

	所需采样 点数量	色差		
		平均色差	最大色差	标准偏差
分区采样分色	3645	9.08	29.55	7.88
全色域采样分色+ 最佳特征色样筛选	3969	8.56	20.69	5.81

试样本所产生的色差。可以看出:新采样方法所用样本点数量虽然略高于全色域采样方法,但是新方法的平均色差、最大色差和标准偏差都小于分区采样方法,这说明新方法的颜色复制性能更加准确。

### 3.2 色域比较

为了比较 2 种采样分色方法能够复制的最大色域,分别使用这 2 种采样分色方法创建 AtoB1 正向查找表(lookup table),然后将其写入 CMYKOG6 色 ICC 特性文件。利用 X-Rite" Profile Editor" 软件的" gamut view" 功能模块读取 ICC 文件的 AtoB1 查找表来显示该打印系统的 3 维色域,如图 7 所示。图中蓝色立体

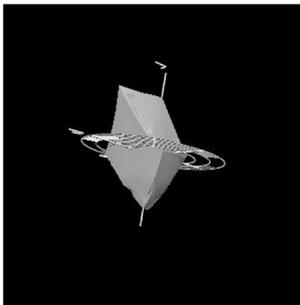


图 7 色域比较

Fig. 7 Color gamut comparison

区域为新采样分色方法所能复制的最大色域范围,红色立体区域为分区采样分色方法的最大色域范围。可以看出,当使用 CMYKGO 全色域采样时,会导致色域在暗调区域有所扩展。这是由于新的采样方法在

暗调区域使用了所有通道的打印色料,因此在此区域的色域扩展是可能的。分区采样方法则无法在图像暗调区域利用 CMYKOG 全色域来进行颜色复制,因此在图像暗调区域很难复制出高饱和度的颜色,颜色复制效果不佳。

## 4 结论

提出了一种基于颜色相关性的特征色样筛选方法。跟传统 CMYK 打印机颜色特征化不同,带有附加颜色通道的多通道打印机颜色特征化会遇到这样一些问题,如:需要打印测量大量的特征色样,存在色度值重复的特征色样,特征色样采样时需要限制色料通道的使用数量来避免墨渍的出现。针对这些问题,文中利用特征色样色料分布(网点面积率)间的相关系数,从 CMYKGO 全色域采样生成的大量特征色样中筛选出一部分具有相似网点面积率分布的特征色样,最后利用筛选后的最佳特征色样构建色分色模型。通过色差和色域评价实验,说明新方法具有较高的分色精度,且在暗调区域有效利用了所有 CMYKGO 色料通道,没有对色域进行分割,因此比传统的采样分色方法能够再现更大的色域。

### 参考文献:

- [1] 朱明,李晓春. 多色印刷分色算法研究综述[J]. 中国印刷与包装研究, 2012, 4(3): 10-14.  
ZHU Ming, LI Xiao-chun. Research Survey of Multi-color Printing Separation Technology [J]. China Printing and Packaging Study, 2012, 4(3): 10-14.
- [2] AGAR A Ufuk. Model based color separation for CMYKcm printing [C]//Proceedings of The Ninth IS&T/SID Color Imaging Conference. Scottsdale, AZ: IS&T, 2001: 298-302.
- [3] 周倩,刘真. 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. Errors Analysis of Three Major Color Separation Algorithms [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7): 107-111.
- [4] JANG In-su, SON Chang-hwan, PARK Tae-yong, et al. Hi-Fi Printer Characterization Method Using Color Correlation for Gamut Extension [C]//Proceedings of the International Conference on Image Processing, ICIP2006. Atlanta, Georgia, USA: IEEE, 2006: 1517-1520.

统一的信息标准是横向信息有效流转的基础,推进集装箱物资信息化进程,需要建立统一的物资编码标准、供应商编码标准、基础数据字典、物资业务信息标准、物资管理信息系统与其它系统之间的接口规范等。规范的物资业务流程是实现信息集成和共享的基础。在集装箱物资信息化建设过程中,应按照现代化的物资管理理念和一体化管理的思想,不断改进和优化物资业务流程,是物资业务系统能更好地适应信息化管理的需要。

### 3 结语

军用物资的集装箱化是军事物流作业效率提升的倍增器,是军事物流现代化的基本要求。我军军用物资集装箱化的发展由于起步较晚,与现代战争的需求还有较大的差距。瞄准军用物资集装箱化的薄弱环节,研究和应用具有针对性、实用性的建设策略,是利用和发挥后发优势、推动我军物资集装箱化建设又快又好发展的关键所在。

#### 参考文献:

- [1] 吴清一. 发展集装箱单元化运输,建设高效物流系统[J]. 物流技术与应用,2011,7(5):72-75.  
WU Qing-yi. Develop Containerized Transport to Construct the Efficient Logistics System[J]. Logistics Technology and Application,2011,7(5):72-75.
- [2] 马宏亮,郭宝华. 美军军用包装的发展与现状[J]. 中国包装工业,2003(6):43-46.  
MA Hong-liang, GUO Bao-hua. Military Package in USA: Development & Status Quo[J]. China Packaging Industry,

2003(6):43-46.

- [3] 贾楠,李红勋,王文强. 民用集装箱运输发展现状、特点及军用集装箱运输发展的对策[J]. 军事交通学院学报,2012,14(6):73-75.  
JIA Nan, LI Hong-xun, WANG Wen-qiang. Development Situation of Civil Container Transportation and Its Enlightenment on Military Container Transportation[J]. Journal of Military Transportation University,2012,14(6):73-75.
- [4] 谢关友,李良春. 美军弹药集装箱化保障对我军弹药集装箱化的启示[J]. 包装工程,2008,29(3):178-181.  
XIE Guan-you, LI Liang-chun. Enlightenment of US Army Ammunition Container Packaging[J]. Packaging Engineering,2008,29(3):178-181.
- [5] 赵世宜,田润良,李勤真,等. 我国集装箱化军事运输装卸设备现状、问题及对策[J]. 集装箱化,2009,20(3):3-5.  
ZHAO Shi-yi, TIAN Run-liang, LI Qin-zhen, et al. The Current Status, Existing Problem, and Strategies for Military Containerized Transport, Upload and Unload Equipment in Our Country[J]. Containerization,2009,20(3):3-5.
- [6] 杨金展,韩纪富. 外军军交运输装卸装备发展现状与启示[J]. 军事交通学院学报,2009,11(3):81-84.  
YANG Jin-zhan, HAN Ji-fu. Actuality and Revelation of the Foreign Army Military Transportation Load and Unload Equipment[J]. Journal of Military Transportation University,2009,11(3):81-84.
- [7] 荣丽. 美军军事物流中 RFID 应用及其在我国军工物流中应用的启示[J]. 物流科技,2011,34(11):28-32.  
RONG Li. Research on RFID Application in U. S. Military Logistics and Its Revelation to China's Military Logistics [J]. Logistics Management,2011,34(11):28-32.

(上接第 75 页)

- [5] 郭晋一. 基于光谱匹配法 Neugebauer 方程的彩色打印系统特征化模型研究[D]. 杭州:浙江大学,2011:33-67.  
GUO Jin-yi. Developing the Characterization Model of Color Printing System Using Spectral-based Neugebauer Equations[D]. Hangzhou: Zhejiang University,2011:33-67.
- [6] 曹朝辉. 多色印刷分色模型研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2007:41-54.  
CAO Zhao-hui. A Study of Multi-color Printing Color Separation Model[D]. Zhengzhou: Information Engineering University,2007:41-54.

- [7] 朱明. 高动态范围图像高保真印刷复制研究[D]. 南京:南京林业大学,2011.  
ZHU Ming. The Research on High-fidelity Reproduction of High Dynamic Range Images[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University,2011.
- [8] 王义峰,曾平,王莹. 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 Yi-feng, ZENG Ping, WANG Ying. Multi-Channel Printer Characterization Based on Gamut Partition[J]. Acta Electronica Sinica,2010,38(3):507-511.