

# 基于人工蜂群优化的印刷色彩分色

林 剑, 赵 龙, 徐 剑, 余节约

(杭州电子科技大学, 杭州 310018)

**摘要:** 分析了 2 种原色油墨叠印后的颜色光谱, 并在此基础上建立了印刷中黄、品、青、黑四原色的网点面积率和相互叠印之后的光谱反射率之间的关系模型, 结合人工蜂群算法具有良好寻优能力的特点, 提出了人工蜂群优化的印刷色彩分色模型。以标准色谱作为测试样本进行了仿真实验, 结果表明该模型具有较高的分色精度。

**关键词:** 人工蜂群算法; 光谱; 分色; 印刷色彩

**中图分类号:** TS801.3; TS801.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)05-0019-04

## Printing Color Separation Based on Artificial Bee Colony Optimization

LIN Jian, ZHAO Long, XU Jian, YU Jie-yue

(Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** The relational model was established between printing dot area of yellow, magenta, blue, black four primary colors and the spectral after mutual trapping. Combined with the features of good optimization ability of artificial bee colony algorithm, an artificial bee colony optimization based printing color separation modal was proposed. Simulation tests were carried out on specimen of standard chromatography. The results showed that the model has high color separation accuracy.

**Key words:** artificial bee colony algorithm; spectrum; color separation; printing color

随着现代经济文化水平的高速发展,人们对印刷品色彩的要求越来越高,尤其是在高端市场,更是要求印刷品的色彩效果无限接近真实自然。普通的彩色复制设备由于其色彩再现结构、机理等原因,所得印刷品只能在特定观察环境和条件下与原稿保持一致。为追求更好的色彩效果,专色油墨的使用愈趋频繁,由此对印刷分色方法的研究也越加深入<sup>[1-3]</sup>。每个色彩的光谱属性在任何条件下都是不变的,可以说是其本质表征,故可通过色彩的光谱数据描述实现在大多数照明条件下视觉宽容度内稳定的色彩匹配,即以不同波段光谱的反射或透射率来达到色彩精确再现,因此,建立完善的基于光谱数据的印刷色彩分色模型意义重大。

人工蜂群算法<sup>[4-7]</sup>是 Karaboga 于 2005 年提出的一种元启发式寻优算法,该算法模拟蜂群的采蜜行

为并找到最佳蜜源位置的过程,由于其良好的寻优能力而逐渐被应用于解决优化问题<sup>[8-10]</sup>。笔者在分析印刷色彩的呈色原理基础上,提出人工蜂群优化的印刷色彩分色模型,用以建立印刷中各专色网点面积率和色彩光谱之间的非线性关系。

## 1 人工蜂群算法

人工蜂群算法主要模拟自然界中蜂群搜寻蜜源的过程,算法中蜂群主要由采蜜蜂、观察蜂和侦察蜂 3 种类型组成。其中采蜜蜂根据其记忆的蜜源位置在其附近搜寻另一个蜜源,采蜜蜂在蜂巢内以“摆尾舞”的形式和观察蜂共享蜜源位置信息;观察蜂根据蜜源对应的花蜜量选择一个蜜源,同时也在所选择的蜜源邻域内搜索另一蜜源;侦察蜂通过随机搜寻方式选

**收稿日期:** 2010-12-20

**基金项目:** 浙江省自然科学基金(Y1100771);浙江省大学生新苗人才计划资助项目

**作者简介:** 林剑(1983—),男,浙江乐清人,杭州电子科技大学讲师,主要研究方向为智能控制与智能优化、印刷质量控制。

择一个新的蜜源。在人工蜂群算法中,每个蜜源位置就代表优化问题的一个候选解,蜜源的花蜜量则对应相应解的适应度  $fit$ 。人工蜂群算法可以描述如下。

1) Step 1 初始化。随机产生初始群体,即  $n_e$  只采蜜蜂、 $n_o$  只观察蜂和  $n_s$  只侦察蜂,其中  $n_e$  为采蜜蜂数,也等于蜜源数目。在  $d$  维搜索空间中,第  $i$  个蜜源位置可表示为  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$ ,其中  $i \in \{1, 2, \dots, n_e\}$ 。

2) Step 2 采蜜蜂小邻域范围寻优。采蜜蜂根据它记忆中的局部信息产生一个新的位置:

$$x_{ij}^{new} = x_{ij} + \epsilon(x_{ij} - x_{kj}) \quad (1)$$

其中:  $\epsilon$  为  $[-1, 1]$  范围内的随机数,称为搜索因子;  $k$  为随机选择的下标。检查新位置的花蜜量,如果新位置优于原位置,则该蜜蜂记住新位置并忘记原位置,否则保持原位置不变。

3) Step 3 采蜜蜂和观察蜂进行信息共享。所有的采蜜蜂完成搜索过程后,它们将所知道的蜜源信息通过舞蹈区与观察蜂共享。观察蜂根据从采蜜蜂处得到的信息,按照与花蜜量相关的概率选择一个蜜源位置,观察蜂选择第  $i$  个蜜源位置的概率为:

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{j=1}^{n_e} fit_j} \quad (2)$$

同时观察蜂也采用式(1)对记忆中的位置做一定的改变,并检查新候选位置的花蜜量,若新位置优于记忆中的蜜源位置,则用新位置替换原来的蜜源位置。

4) Step 4 侦察蜂随机搜寻。将侦察蜂随机派遣到某一位置,并在该位置搜寻蜜源,若发现侦察蜂所搜寻到的蜜源花蜜量要高于先前采蜜蜂和观察蜂所搜寻到的最差蜜源,则替换该蜜源,并将相应的采蜜蜂或观察蜂变为侦察蜂,而原先的侦察蜂则变为采蜜蜂或观察蜂。

5) Step 5 检查结束条件。若满足设定的结束条件则结束,否则跳转到 Step 2 继续寻优。

## 2 印刷色彩分色问题描述

### 2.1 印刷品呈色原理分析

印刷工艺主要采用青、品红、黄、黑四色油墨的组合来产生新颜色,其呈色原理是光在承印物和油墨上透射与反射的综合效果,某种色彩往往是由多种原色

油墨相互叠印而成,照明光照射在印刷品上,穿过油墨层,由纸张将透射光反射回来,再次穿过油墨层,相当于经过油墨的 2 次吸收。根据布格-朗伯定律,油墨对照明光的吸收作用等于双倍墨层厚度的吸收。

$$\rho(\lambda) = \rho_w(\lambda) e^{2Cd} \quad (3)$$

式中:  $d$  为油墨的厚度;  $C$  为油墨的吸收率,一般为波长的函数;  $\rho_w(\lambda)$  为纸张的吸收率。定义  $2Cd$  为油墨层的总吸收率  $A$ , 对式(3)取对数,就可以得到油墨层总的吸收率  $A = -\ln[\rho(\lambda)/\rho_w(\lambda)]$ 。单纯油墨层的光谱透射率  $\tau(\lambda) = \rho(\lambda)/\rho_w(\lambda)$ , 则印刷品的总光谱反射率  $\rho(\lambda) = \tau(\lambda)\rho_w(\lambda)$ 。

假设黄、品、青、黑 4 种原色油墨实地和底材白纸的光谱反射率分别为  $\rho_y(\lambda)$ ,  $\rho_m(\lambda)$ ,  $\rho_c(\lambda)$ ,  $\rho_k(\lambda)$  和  $\rho_w(\lambda)$ , 根据上面的讨论,入射光线要经过墨层的 4 次透射和 1 次纸张的反射,因此 4 种颜色叠色后的光谱反射率可以表示为:

$$\rho(\lambda) = \tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)\tau_3(\lambda)\tau_4(\lambda)\rho_w(\lambda) \quad (4)$$

式中:  $\tau_1(\lambda)$ ,  $\tau_2(\lambda)$ ,  $\tau_3(\lambda)$  和  $\tau_4(\lambda)$  分别为第 1~4 色油墨的光谱透射率;  $\rho_w(\lambda)$  为纸张的光谱反射率。

当四原色油墨不是以实地面积完全重叠在一起时,理想情况下一个网点面积单元应由 4 个部分组成。首先是两色墨重叠的部分,可用式(4)计算,其次是两色墨均无印上部分,直接表现为纸张反射率  $\rho_w(\lambda)$ , 其余 2 部分为两油墨各自单独印上部分,入射光线只经过了墨膜的一次透射和纸张的一次反射。这就是光谱形式的组介堡方程。根据色彩叠加原理得出间色各梯级的光谱反射率与网点面积关系为:

$$\rho(\lambda) = \tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)\tau_3(\lambda)\tau_4(\lambda)\rho_w(\lambda) = \prod_{i=1}^4 [\chi_i \rho_i + (1 - \chi_i) \rho_w] / \rho_w^3 \quad (5)$$

其中:  $\chi_i$  为黄、品、青、黑 4 种原色油墨的网点面积率。

### 2.2 基于人工蜂群优化的光谱分色模型

利用人工蜂群算法优化黄、品、青、黑 4 种原色油墨的网点面积率  $c, m, y, k$ , 根据式(6)计算得到相应波长下的光谱反射率,并和样品的标准光谱反射率进行比较,得到适应度函数为:

$$fit(c, m, y, k) = \sum_{i=1}^{31} \|\bar{\rho}(\lambda_i) - \rho(\lambda_i)\|^2 \quad (6)$$

其中:  $\rho(\lambda_i)$  表示在波长 400~700 nm 范围内每隔 10 nm 的波长的反射率。具体的算法流程见图 1。

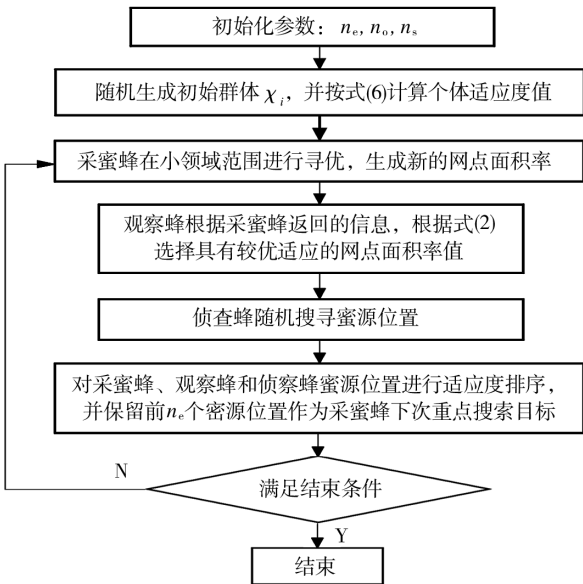


图1 基于人工蜂群优化的印刷色彩分色流程  
Fig.1 The process of artificial bee colony optimized printing color separation

3 仿真实验

实验样本为如下印刷条件下印制的四色印刷色谱样品: GATF TestForm 4. 1 测试控制标版, BlackMagic 数码打样, 炬光热敏 CTP 版, 天津天狮油墨, 海德堡单张纸印刷机 CD102-4, UPM 优光铜版纸。以黄、品红、青各色油墨网点面积 0~100% 的变化, 分成 0, 5%, 10%, 20%, ..., 100% 等 12 个等级。在每页色谱上, 以品红、青油墨分别作横向和纵向的变化, 用每一等级的黄色油墨依次套印在每页色谱上, 形成由三原色组成的印刷色谱, 这样可得到 12×12×12=1 728 种不同的色块; 在上述三色色谱的基础上, 再铺上 0, 5%, 10%, 20%, 40%, 60% 的黑色平网, 共计形成 10 368 个同步颜色的色块, 并将其作为测试样本。利用基于人工蜂群优化的光谱分色模型对测试样本进行测试, 算法中群体规模为 50、迭代次数为 50, 采蜜蜂小邻域连续寻优次数为 3, 对每一测试样本运行优化算法 5 次, 并取所有运算结果中适应度的平均值, 得到平均适应度曲线和最优适应度曲线, 见图 2, 对应各原色的网点面积率见表 1。由于在标准色谱中, 没有给出原色 K 的实地色块, 因此只给出 CMY 三原色的网点面积率进行比较, 部分测试样本优化后的光谱反射率结果曲线与期望光谱反射率曲线的比较见图 3。

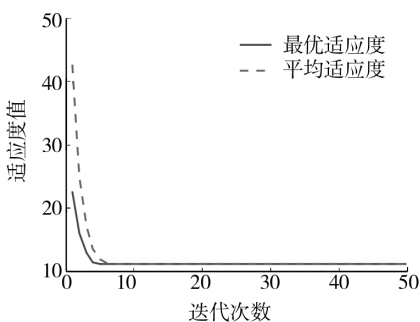


图2 算法优化过程适应度值变化曲线  
Fig.2 Curve of fitness value in the process of algorithm optimization

表1 部分色卡分色后各原色网点的面积率比较  
Tab.1 Comparison of the primary color dot percentage

| 编号 | 理论网点面积率/% |    |    | 实际模型输出/% |       |       | fit   |
|----|-----------|----|----|----------|-------|-------|-------|
|    | C         | M  | Y  | C        | M     | Y     |       |
| 1  | 40        | 80 | 0  | 40.61    | 78.25 | 0     | 11.20 |
| 2  | 70        | 20 | 0  | 82.4     | 11.64 | 0     | 8.34  |
| 3  | 0         | 90 | 80 | 0        | 93.49 | 79.39 | 10.40 |
| 4  | 0         | 20 | 60 | 0.38     | 26.03 | 69.09 | 8.47  |
| 5  | 80        | 30 | 20 | 85.06    | 28.23 | 20.60 | 4.73  |
| 6  | 40        | 20 | 80 | 49.08    | 16.72 | 85.72 | 5.74  |
| 7  | 60        | 60 | 20 | 67.35    | 65.69 | 12.86 | 4.92  |
| 8  | 50        | 50 | 20 | 59.51    | 55.01 | 15.36 | 5.36  |

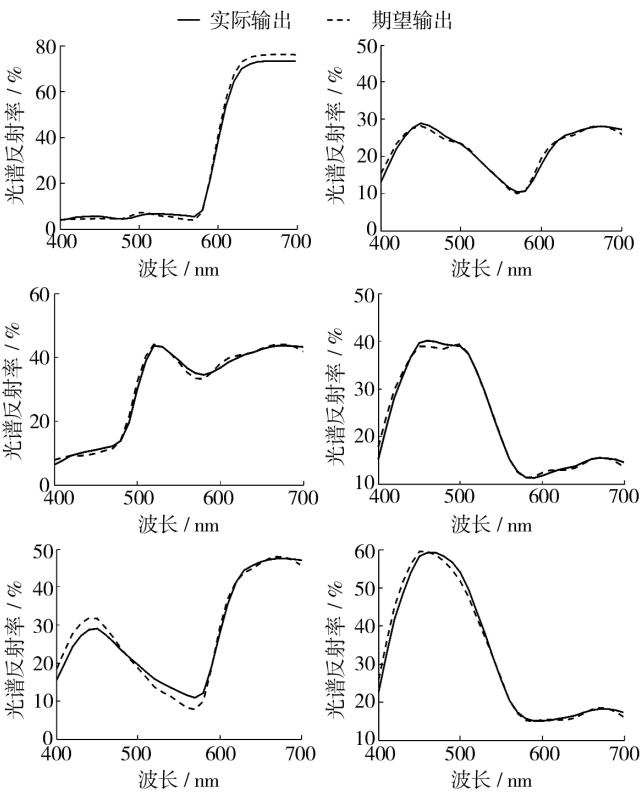


图3 部分色卡的光谱曲线算法优化比较  
Fig.3 Comparison of algorithm optimized spectral curves of some color cards

## 4 结论

分析了印刷中多色墨叠印后的呈色效果,提出了光谱形式的纽介堡方程,并以叠印后实际和计算所得光谱反射率的平方差作为适应度函数,结合人工蜂群算法具有良好寻优能力的特点,建立了印刷色彩中光谱反射率和对应的黄、品、青、黑四原色网点面积率之间的非线性关系,提出了基于人工蜂群优化的光谱分色模型和算法流程,并利用标准色谱作为测试样本,对提出的分色模型进行了试验仿真,得出:

1) 基于人工蜂群优化的印刷色彩模型,在多次计算过程中都能以较快速度收敛,并取得较优的适应度值,同时,优化后的光谱反色率值和理论值较为吻合。

2) 实际输出的各原色网点面积率基本接近理论值,但是也存在一定误差,原因在于印刷过程会造成网点扩大,从而造成细微误差被放大。

上述结论和方法可为今后进一步研究色彩分色和油墨配色方法提供一定的思路。

### 参考文献:

- [1] 许端清,陈纯. 基于四色和专色分色一体化工艺的数字印前系统的设计与实现[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2000,12(2): 96—100.
- [2] 庞也驰,庞多益,赵蕾,等. 基于复频谱色度理论的油墨配色技术研究[J]. 中国印刷与包装研究,2009,1(2):22

(上接第 14 页)

## 7 结语

QFD 作为一种先进的产品开发与规划方法,一直以来应用到了各类产品的创新性设计中,并取得了很大的成功。QFD 在保证质量的前提下,大大提高了产品开发的效率。以 QFD 方法应用于药品泡罩包装机,解决了药品泡罩包装机在开发成型过程中与用户需求之间的矛盾。QFD 更多地关注了用户需求,并将用户需求通过技术需求矩阵、技术竞争性等关系加以评估,最后使新开发的产品更好地满足用户需求,在与同类产品的竞争中更具有优势。随着研究的进一步深入,QFD 必将应用于更多的学科领域,成为创新性产品开发的一个重要平台。

—25.

- [3] 赵晨飞. 四面体插值算法在计算机油墨配色中的应用[J]. 包装工程,2009,30(10):108—110.
- [4] KARABOGA D. A Idea Based on Bee Swarm for Numerical Optimization[R]. Kayseri, Turkey: Erciyes University, 2005.
- [5] KARABOGA D, BASTURK B. A Powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm[J]. Journal of Global Optimization, 2007, 39(3): 459—471.
- [6] KARABOGA D, BASTURK B. On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm[J]. Applied Soft Computing, 2008, 8(1): 687—697.
- [7] KARABOGA D, AKAY K. A Comparative Study of Artificial Bee Colony Algorithm Original Research[J]. Applied Mathematics and Computation, 2009, 214(1): 108—132.
- [8] BAO L, ZENG J C. Comparison and Analysis of the Selection Mechanism in the Artificial Bee Colony Algorithm[C]. Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems, 2009: 411—416.
- [9] OMKAR S N. Artificial Bee Colony (ABC) for Multi-objective Design Optimization of Composite Structures[J]. Appl Soft Comput J, 2010: 1—11. (余不详)
- [10] FATHIAN M, AMIRI B, MAROOSI A. Application of Honey-bee Mating Optimization Algorithm on Clustering[J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 190(2): 1502—1513.

### 参考文献:

- [1] 闵高麒,董伟. 国产铝塑泡罩包装机与进口同类产品的对比分析[J]. 机电信息, 2005(16): 37—39.
- [2] 余伟伟,帅茨平,周慧兰. QFD 和 TRIZ 集成在儿童玩具车概念设计中的应用[J]. 包装工程, 2007, 28(7): 158—160.
- [3] 刘渤海,倪大伟. QFD 在新产品开发中的应用[J]. 机械工程与自动化, 2009(1): 57—60.
- [4] 李瑞琴. 现代机械概念设计与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [5] 宋宝丰. QFD(质量功能配置法)在包装设计中的应用[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 87—91.
- [6] 杨雨,檀润华. QFD 技术在中药丸剂包装机上的应用[J]. 中国质量, 2008(10): 25—28.
- [7] 穆瑞,张家泰. 基于 QFD 的质量屋技术在冰箱设计中的应用[J]. 机械设计, 2007, 24(8): 45—48.
- [8] 何贞,赵有,马彦辉. 模糊 QFD 中技术特性重要度排序方法[J]. 天津大学学报, 2008, 41(5): 631—634.