

基于 YNSN 模型的艺术品色彩校正方法

蔡玲¹, 刘振², 陈广学¹

(1.华南理工大学, 广州 510640; 2.曲阜师范大学, 曲阜 273100)

摘要: **目的** 为了提高高仿真艺术品色彩再现的稳定性, 有效改善色度复制中同色异谱现象所引起的缺陷, 提出一种色彩校正模型。**方法** 在传统色彩再现模型的基础上选取 Y-N 模型进行改进, 进一步利用 YNSN 模型进行优化, 从而得出精准的非线性校正 n 值, 再选取光谱均方根误差和拟合度为控制参量, 根据光谱均方根误差最小且拟合度最高的原则来选取最优 n 值, 以提高复制品色彩再现的精确度和稳定性。**结果** 实验结果显示, 最终获取的非线性校正 n 值分别为青 2.7814、品 2.9312、黄 3.9621、黑 5.0116; 与之相对应的平均光谱均方根误差达到 0.0265, 平均拟合度达到 0.9972。**结论** 该模型能有效地校正艺术品的色彩再现, 且具有较高的色彩校正精确度。

关键词: Y-N 模型; YNSN 模型; yule-nielson 系数; 光谱均方根误差; 拟合度

中图分类号: TS805.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)19-0212-04

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.19.036

Artwork Color Correction Method Based on YNSN Model

CAI Ling¹, LIU Zhen², CHEN Guang-xue¹

(1.South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2.Qufu Normal University, Qufu 273100, China)

ABSTRACT: The work aims to increase the stability of color reproduction of high-simulation artworks and improve defects caused by metamerism in chroma replication so as to propose a color correction model. Y-N model was selected for improvement based on traditional color reproduction model. The YNSN model was used for optimization to obtain accurate yule-nielson correction coefficients. Then, the RMS error of the spectrum and the fitting were selected as the controlled variables. According to the minimum RMS error of the spectrum and the highest degree of fitting, the optimal value of n was selected to improve the accuracy of the reproduction color. The experimental results showed that the final linear correction values of n were: C 2.7814, M 2.9312, Y 3.9621 and K 5.0116, the average RMS of the spectrum reached 0.0265, and the average degree of fit was 0.9972. The model can effectively correct the color reproduction of the artwork and has high color correction accuracy.

KEY WORDS: Y-N model; YNSN model; Yule-nielson coefficient; sRMS; GFC

现有的艺术品高仿真复制普遍是基于同色异谱现象的色度复制, 当改变光源等特定的观察条件时, 原来视觉一致的颜色就可能产生不同的视觉感受^[1], 即同色异谱复制导致的输出复制品与原稿颜色匹配不稳定的现象, 因而引入光谱颜色复制作为解决方案。在以光谱信息代替传统的色度信息进行复制时,

需要对色彩校正模型进行正确的选择与优化^[2-6]。

目前陈敏等^[2]在光谱复制的流程中有所研究, 但是研究内容更侧重于通过相关模型进行数据的获取和处理, 研究内容较为系统。陈炳萍等^[4]侧重于光谱预测模型的研究, 更加注重对打印机成像过程的描述, 但该模型研究的缺点是建立过程较繁琐, 工作量

收稿日期: 2018-06-14

基金项目: 广东省科技计划 (201713090901064)

作者简介: 蔡玲 (1994—), 女, 华南理工大学硕士生, 主攻绿色包装和智能印刷。

通信作者: 陈广学 (1963—), 男, 博士, 华南理工大学教授、博导, 主要研究方向为数字印刷和印刷包装材料等。

大且运算也更复杂。Diyuan Theng^[7]带领的颜色科学与工程实验室提出了理想光谱-色度色彩管理系统，虽然可以与传统的基于视觉的色彩管理系统相兼容，实现色度和光谱交叉颜色再现，但仍无法实现完全的高保真复制。鉴于以上研究基础，文中主要在尤尔·尼尔森（Y-N）模型的基础上建立优化的纽介堡光谱（YNSN）模型^[7-8]，从而得到精确的 yule-nielson 系数，进一步使得复制品能最大限度地再现原稿的光谱颜色，实现艺术品的高精度复制。

1 高仿真色彩校正模型的建立与优化

1.1 尤尔·尼尔森（Y-N）模型

尤尔·尼尔森（Y-N）模型充分考虑了网点扩大现象以及油墨非均匀所带来的误差，改变传统的理想线性关系，引入参数“ n ”来修正网点扩大带来的误差，见式（1）。

$$R_{\lambda,p} = [a_{\text{eff}} R_{\lambda,100\%}^{1/n} + (1 - a_{\text{eff}}) R_{\lambda,s}^{1/n}]^n \quad (1)$$

式中： $R_{\lambda,p}$ 为任意一点的光谱反射率； $R_{\lambda,s}$ 为纸张空白部分的光谱反射率； $R_{\lambda,100\%}$ 为实地部分的光谱反射率； a_{eff} 为有效网点面积率； n 值为校正因数，可通过模型进行优化获取，是实验的重点优化对象。可通过该模型反向推导以获得有效网点面积率，其反向推导见式（2），所涉及参数同式（1）。

$$a_{\text{eff}} = \frac{R_{\lambda,p}^{1/n} - R_{\lambda,s}^{1/n}}{R_{\lambda,100\%}^{1/n} - R_{\lambda,s}^{1/n}} \quad (2)$$

由此获得的网点面积率是有效网点面积率，不同于传统忽略人眼视觉特征的线性关系推算值，这意味着其值与实际值之间的非线性关系更加接近。

1.2 尤尔·尼尔森校正后的纽介堡光谱（YNSN）模型

该模型主要针对多原色印刷而提出^[9-10]。考虑到实际印刷过程中因网点扩大现象而引起的测量和计算误差，同样引入校正因子 n 来解决，见式（3）。

$$R_{\lambda} = \left[\sum_i a_i R_{\lambda,i,100\%}^{1/n} \right]^n \quad (3)$$

式中： R_{λ} 为推测的光谱反射率； a_i 为第 i 个纽介堡基色的油墨网点面积率，可由 Demchel 方程获得； $R_{\lambda,i,100\%}$ 为第 i 个纽介堡基色在网点面积率为百分之百时的光谱反射率。

该模型在充分考虑了人眼非线性视觉关系的同时还考虑到各墨色叠印成色的特点，Demchel 方程的引入使其更接近实际印刷复制的工艺流程。

1.3 高仿真色彩校正模型的优化

尤尔·尼尔森（Y-N）模型校正了人眼的非线性视觉关系且尤尔·尼尔森校正后的纽介堡光谱（YNSN）

模型在满足接近人眼视觉观察的同时还逼近实际印刷工艺，在此基础之上建立优化算法，具体算法思想见图 1。

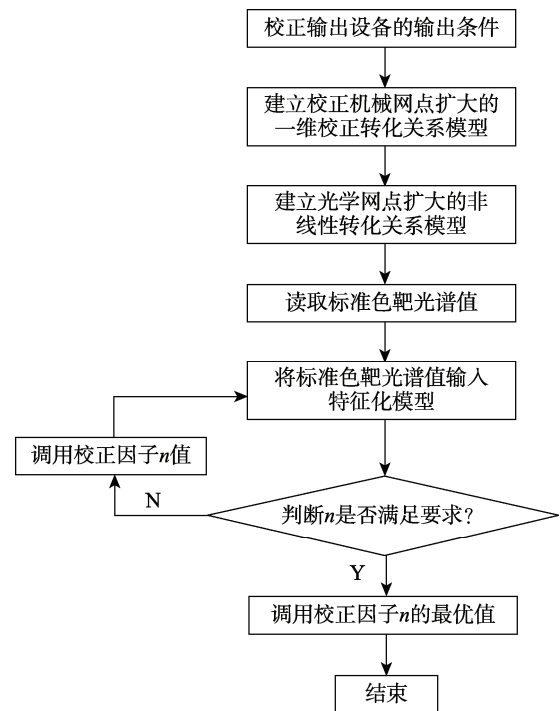


图 1 获取有效网点面积算法流程

Fig.1 Flow chart to obtain effective dot area algorithm

该算法在校正基本输出条件和网点扩大的前提下，以光谱均方根误差和拟合度为优化衡量参数，分别优化出 2 种模型的最优 n 值。在算法的循环语句中，当模型的光谱均方根误差和拟合度都达到最优效果时循环结束，输出优化结果。

2 优化参数的获取

确定输出环境。选取 EPSON STYLUS PRO 7600 大幅面打印机，输出高色彩密度图像。以宣纸为输出介质，保证最大程度接近艺术品原稿的色彩效果^[11-13]。同时借助 ONYX Production House 10 驱动打印机输出校准色片，使得每个色片的差异精确到 0.01%^[14-17]。

明确获取条件。校准 Ci64 积分球式分光光度计结合 Color iControl 软件分别取各单通道墨色 20%、40%、60%、80%、100% 网点面积处以及宣纸空白部分的反射率，以此辅助循环算法函数获得有效网点面积率 a_{eff} 。

选定优化模型。选取与人眼视觉无关的光谱均方根误差（sRMS）、拟合度（GFC）作为评价参数，利用枚举法获得 Y-N 模型和 YNSN 模型各单通道中使光谱均方根误差最小的优化 n 值，同时计算拟合度作为参考。所得结果见表 1—2。由所得数据可知，通过 YNSN 模型提取的光谱均方根误差要比 Y-N 模型

获取的值要低很多,且通过 YNSN 模型提取的复制品与原稿的拟合度近乎为 1。由此进一步确定在优化算法中追求高精度时应选取基于 YNSN 模型的优化循环。

获取优化参数。在准确获得实验数据之后,发现各单色校正因子 n 的最优取值各不相同,且通过 YNSN 模型获取的 yule-nielson 值普遍比通过 Y-N 模型所获取的值要高,鉴于其满足光谱均方根误差更小且拟合度最高的条件下,由此在 YNSN 模型优化循环中获得的 n 值最优。

表 1 基于 Y-N 模型的优化获取值

Tab.1 Optimized acquisition value based on Y-N model

颜色	n 值	光谱均方根误差	拟合度
C	2.2132	0.0483	0.8195
M	2.7189	0.0514	0.9975
Y	3.4801	0.0171	0.8711
K	4.3269	0.0367	0.8472

表 2 基于 YNSN 模型的优化获取值

Tab.2 Optimized acquisition value based on YNSN model

颜色	n 值	光谱均方根误差	拟合度
C	2.7814	0.0333	0.9969
M	2.9312	0.0445	1.0000
Y	3.9621	0.0081	0.9932
K	5.0116	0.0201	0.9987

3 模型验证

3.1 模型验证数据分析

为进一步检验模型校正的准确性,打印色彩管理标准色板 (IT8.7/4) 并从中随机选取 246 个色块组成测试样本,用具有不同相对光谱功率分布的测试照明体,通过分光光度计测量其光谱反射率并结合 YNSN 模型计算优化前后的同色异谱指数分布图,见图 2。此处同色异谱指数的获取采用 CIE 提出的同色异谱指数计算方法。

同色异谱是导致艺术品复制产生缺陷的主要原因,通过分析同色异谱指数可以更加直观地比较模型优化的效果^[18-21]。在未进行模型优化的同色异谱指数分布图中(图 2a),同色异谱指数数值较大,最大可至 6.0;在模型优化后的同色异谱指数分布图中(图 2b),数值明显变小,且主要集中在 0.25 至 1.25 范围内。这充分说明经过色彩校正后的复制品能有效规避同色异谱所带来的缺陷。

3.2 模型验证主观评价

进一步比较模型优化前后的输出复制品,可以直观感受到两者色彩呈现的差异。在未进行模型优化时,由于未进行精确的网点校正,使得复制品不能将原稿的光谱信息充分再现,见图 3a,图像的部分阶

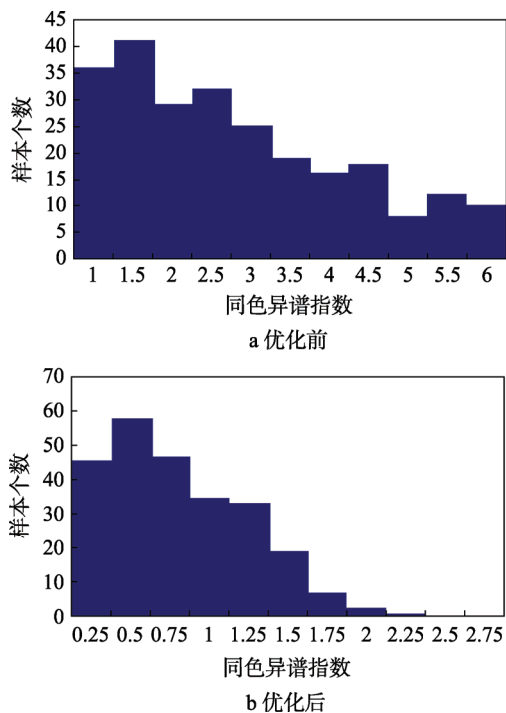


图 2 优化前后复制品同色异谱指数分布
Fig.2 Metamerism index distribution of replicas before and after optimization

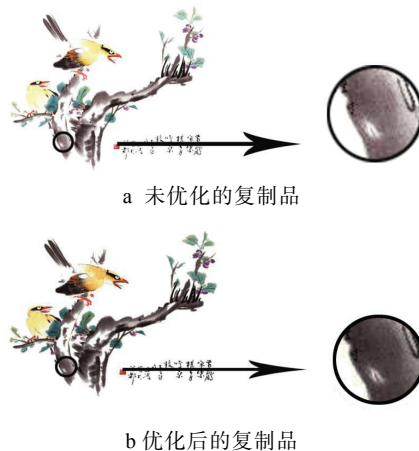


图 3 优化前后的复制品对比

Fig.3 Comparison of replicas before and after optimization

调无法再现。图 3b 经过优化后复制品的饱和度比未优化得到的复制品更高,层次也更加丰富,具有更丰富而真实的色彩效果,说明复制品的有效网点面积充分承载了原稿的光谱信息,从而保证了观察者在任何观察条件下均能接收到与原稿一致的光谱刺激,有效地实现了将光谱信息转化为相应的网点百分比进行高精度输出。

4 结语

通过运用基于 YNSN 模型的循环优化,可以获得满足光谱均方根误差最小且拟合度最高的优化 n 值,以此可以解决高仿真复制中同色异谱导致的色彩

再现效果不稳定的问题。该优化方法可有效地将原稿的光谱信息进行输出,从而保证了输出复制品具有较高的拟合度。实验证明,基于 YNSN 模型优化的精确度优于 Y-N 模型的优化,且优化后能有效控制同色异谱现象,进而能够满足在任意观察条件下均保持色彩一致的要求,具有较好的应用价值。

参考文献:

- [1] 洪亮, 楚高利. RGB 到 CIEXYZ 色彩空间转换的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(21): 85—89.
HONG Liang, CHU Gao-li. Study RGB to CIEXYZ Color Space Conversion[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 85—89.
- [2] 陈敏. 打印机光谱色域描述及其可视化技术的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
CHEN Min. Research on the Description of Color Spectrum of Printer and Its Visualization Technology[D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Technology, 2009.
- [3] 李瑞娟, 邓倩. 基于三维查找表的 RGB 到 XYZ 颜色空间转换的研究[J]. 包装工程, 2012, 33(13): 116—119.
LI Rui-juan, DENG Qian. Study RGB to XYZ Color Space Conversion Based on Three-dimensional Look-up Table[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13): 116—119.
- [4] 陈炳萍. 多色打印机的色空间研究-八色光谱打印模型的原色选择[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
CHEN Bing-ping. Research on Color Space of Multi-color Printers-Primary Color Selection of Eight-color Spectrum Printing Model[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [5] ROY S B, FRANCISCO H L, PETER D Y, et al. Multispectral-based Color Reproduction Research at the Munsell Color Science Laboratory[C]// SYBEN-Broadband European Networks and Electronic Image Capture and Publishing. DBLP, 1998: 14—25.
- [6] 李丽霞, 张逸新. 神经网络在色空间转换中的应用[J]. 包装工程, 2011, 32(9): 108—110.
LI Li-xia, ZHANG Yi-xin. Application of Neural Network in Color Conversion[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9): 108—110.
- [7] DI Y T. Spectral-based Color Separation Algorithm Development for Multiple-ink Color Reproduction[D]. New York: University of Rochester Institute of Technology, 1999.
- [8] SILVIA Z L, RAIMONDO S P. Spectral-based Printer Modeling and Characterization[J]. Journal of Electronic Imaging, 2015, 14(2): 1—9.
- [9] 张彦. 基于光谱分析的多色半色调光谱模型的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2012.
ZHANG Yan. Research on Multi-color Halftone Spectral Model Based on Spectral Analysis[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2012.
- [10] 陈琳琳. 基于 YNSN 模型的喷墨打印机颜色特性化研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
CHEN Lin-lin. Research on Color Characterization of Inkjet Printer Based on YNSN Model[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [11] 王莹. 多光谱图像色彩再现关键技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
WANG Ying. Research on Key Technologies of Color Reproduction of Multi-spectral Image[D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Technology, 2010.
- [12] 张胜平. 基于多光谱图像的古画颜色修复方法的研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
ZHANG Sheng-ping. Research on the Repair Method of Ancient Painting Color Based on Multispectral Image[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2010.
- [13] 章夫正. 基于光谱颜色复制的打印机特征化方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2012.
ZHANG Fu-zheng. Research on Printer Characterization Based on Spectral Color Copy[D]. Wuhan: Wuhan University, 2012.
- [14] 刘浩学. 印刷色彩学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
LIU Hao-xue. Print Color[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2008.
- [15] 刘武辉. 印刷色彩管理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
LIU Wu-hui. Print Color Management[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011.
- [16] 吴昕, 付香芹. 印刷色彩管理[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2014.
WU Xin, FU Xiang-qin. Print Color Management[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2014.
- [17] 胡媛. 基于光谱的色彩高保真复制技术研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.
HU Yuan. Research-based High-fidelity Replication of the Color Spectrum[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2010.
- [18] CATERINA R, STEPHEN W. Computational Colour Science Using MATLAB[M]. England: Stephen Westland Caterina Ripamonti, 2004.
- [19] 张良彩. 书画艺术品高仿真复制技术再现流程[J]. 印刷质量与标准化, 2014(7): 20—21.
ZHANG Liang-cai. High-fidelity Reproduction Technology Reproduction Flow of Calligraphy and Painting[J]. Printing Quality and Standardization, 2014(7): 20—21.
- [20] 赵志. 中国书画数字高保真复制方法研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2010.
ZHAO Zhi. Research on Digital High-fidelity Copying Method of Chinese Painting and Calligraphy[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2010.
- [21] 栾宁丽. 数字仿真复制技术在书画作品复制中的应用[J]. 数字与微缩影像, 2014(2): 12—16.
LUAN Ning-li. Application of Digital Simulation Copying Technology in Copying of Calligraphy and Painting Works[J]. Digital and Miniature Images, 2014(2): 12—16.