



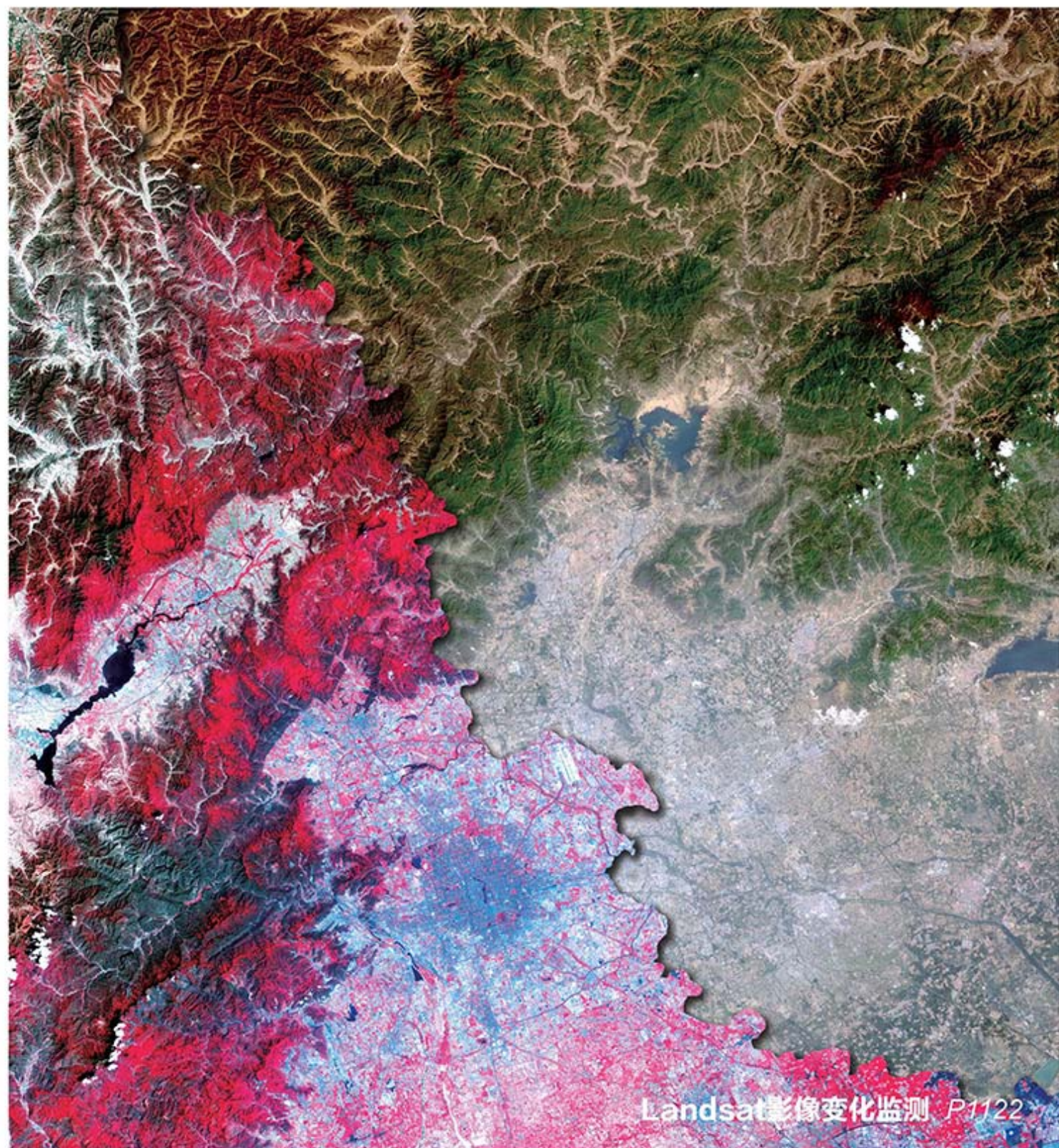
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2015
08
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



Landsat影像变化监测 P1122



第20卷第8期（总第232期）

2015年8月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@radi.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of

Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

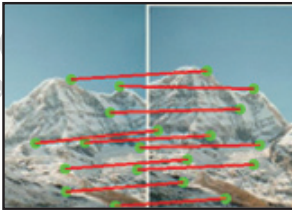
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

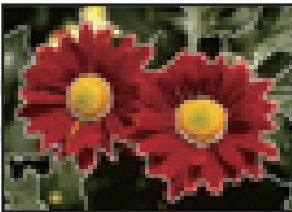
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

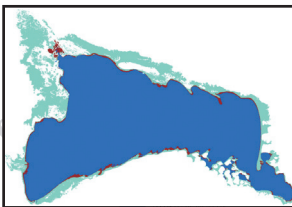
国内定价 50.00元



利用Hough变换的匹配对提纯
(第1017页)



结合格式塔完形规则的自然图像分割(第1026页)



利用长时间序列Landsat分析
博斯腾湖面积变化(第1122页)

图像处理 and 编码

CRT显示图像的色彩管理新模型

黎新伍, 王根生 0993

邻域窗口权重变分的图像修复

王猛, 翟东海, 聂洪玉, 王佳君 1000

自适应滤波窗实现距离加权图像椒盐噪声滤除

林亚明, 李佐勇, 林叶郁, 徐戈 1008

利用Hough变换的匹配对提纯

谢亮, 陈姝, 张钧, 田金文 1017

图像分析和识别

结合格式塔完形规则的自然图像分割

曾接贤, 王玉 1026

融合Kernel PCA形状先验信息的变分图像分割模型

杨建功, 汪西莉, 李虎 1035

基于2维灰度熵阈值选取快速迭代的图像分割

吴诗姘, 吴一全, 周建江, 孟天亮, 戴一晃 1042

基于图像线特征和点云面特征的水下人造目标定位

解则晓, 潘成成, 迟书凯, 魏征 1051

熵能量堆煤图像的定位与识别

袁姮, 王志宏, 姜文涛 1062

时空运动显著性的目标跟踪

谢昭, 刘玉敏, 张骏, 段士雷 1070

结合整体一致性和局部差异性的图像目标显著性检测

张小祥, 马儒宁 1083

基于Radon-经验模式分析的纹理分类

徐卓飞, 张海燕, 刘凯, 侯和平, 徐倩倩, 李利峰 1091

遥感图像处理

四叉树分块的高光谱图像分布式无损编码

王相海, 张智迪, 宋传鸣 1102

基于流形学习的彩色遥感图像分维数估算

王洪波, 罗贺, 王晓佳 1110

利用长时间序列Landsat分析博斯腾湖面积变化

孙爱民, 冯钟葵, 葛小青, 罗宇, 李山山, 闫芳, 冯旭祥 1122

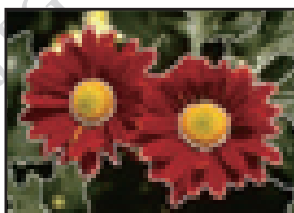
封面图片由中国科学院遥感与数字地球研究所卫星地面系统工程部李山山副研究员提供

CONTENTS

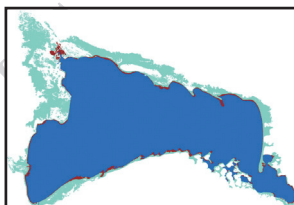
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Purifying algorithm for rough matched pairs using Hough transform (P1017)



Natural image segmentation method based on Gestalt rules (P1026)



Bosten Lake surface area changes analysis using long temporal Landsat image series (P1122)

Image Processing and Coding

- Color management model for CRT color image
Li Xinwu, Wang Gensheng 0993
- Image inpainting with weight variation of neighborhood window
Wang Meng, Zhai Donghai, Nie Hongyu, Wang Jiajun 1000
- Distance-weighted approach based on self-adaptive windows to remove salt and pepper noise in images
Lin Yaming, Li Zuoyong, Lin Yeyu, Xu Ge 1008
- Purifying algorithm for rough matched pairs using Hough transform
Xie Liang, Chen Shu, Zhang Jun, Tian Jinwen 1017

Image Analysis and Recognition

- Natural image segmentation method based on Gestalt rules
Zeng Jiexian, Wang Yu 1026
- Variational image segmentation incorporating Kernel PCA-based shape priors
Yang Jiangong, Wang Xili, Li Hu 1035
- Image segmentation based on the fast iteration for two-dimensional gray entropy threshold selection
Wu Shihua, Wu Yiquan, Zhou Jianjiang, Meng Tianliang, Dai Yimian 1042
- Underwater man-made object localization based on line feature of image and surface feature of point cloud
Xie Zexiao, Pan Chengcheng, Chi Shukai, Wei Zheng 1051
- Coal pile location and recognition method based on entropy energy
Yuan Heng, Wang Zhihong, Jiang Wentao 1062
- Spatio-temporal motion saliency for object tracking
Xie Zhao, Liu Yumin, Zhang Jun, Duan Shilei 1070
- Image target saliency detection by combining the global consistency and local difference
Zhang Xiaoxiang, Ma Runing 1083
- Texture classification based on Radon-empirical mode decomposition analysis
Xu Zhuofei, Zhang Haiyan, Liu Kai, Hou Heping, Xu Qianqian, Li Lifeng 1091

Remote Sensing Image Processing

- Lossless distributed source coding of hyperspectral images based on quadtree segmentation
Wang Xianghai, Zhang Zhidi, Song Chuanming 1102
- Estimation research for fractal dimension of color remote sensing image based on manifold learning
Wang Hongbo, Luo He, Wang Xiaojia 1110
- Bosten Lake surface area changes analysis using long temporal Landsat image series
Sun Aimin, Feng Zhongkui, Ge Xiaoqing, Luo Yu, Li Shanshan, Yan Fang, Feng Xuxiang 1122

中图法分类号: TP37 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)08-0993-07

论文引用格式: Li X W, Wang G S. Color management model for CRT color image[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(8): 0993-0999. [黎新伍, 王根生. CRT 显示图像的色彩管理新模型[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(8): 0993-0999.] [DOI: 10. 11834/jig. 20150801]

CRT 显示图像的色彩管理新模型

黎新伍, 王根生

江西财经大学电子商务系, 南昌 330013

摘要: **目的** 目前色彩管理模型或是注重呈色原理分析,或是仅控制模型的输入输出两端,导致色彩转换精度不高。鉴于此在分析呈色原理的基础上,提出一种 CRT 显示图像色彩管理新模型。**方法** 采用标准色靶作为实验样本,结合显示器的呈色原理,以色靶的彩色梯尺区色块代表整个色空间用以推导模型,解决了显示器色彩校正中样本色块选择的难题;随后,重新解释尤尔-尼尔森方程的参数,使原本只适用于印刷网点图像的呈色模型也适用于非印刷网点图像;其次,结合尤尔-尼尔森方程和显示器呈色原理,利用修正后的缩张拟合算法分单色、双色和 3 色逐步修正和补偿色彩误差,推导出 CRT 显示器的色彩管理新模型。**结果** 本模型能够提高 CRT 显示器的色彩管理精度 54% 以上,能够用于工程实际中的 CRT 显示器色彩管理。**结论** 借助于其他图像设备的呈色原理,本文模型不仅能提高色彩转换精度,也具备较好的参考借鉴价值。

关键词: 显示图像色彩管理;尤尔-尼尔森方程;缩张拟合算法;标准色靶

Color management model for CRT color image

Li Xinwu, Wang Gensheng

Electronic Business department, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China

Abstract: **Objective** Present color management model pays attention to the color rendering principle analysis of different color devices. Alternatively, it only controls the input and output of the model that makes color conversion accuracy low. With regard to these problems, a new color management model is presented by analyzing the color rendering principle of CRT monitor. **Method** The standard color target is taken for experimental sample, and the paper substitutes color blocks in color shade district for complete color space to solve the difficulty of sample color block selecting in color adjustment of CRT monitor by deducing final color management model. Second, parameters of Yule-Nielson equation are reinterpreted. Thus, it can be used for nonprinting dot image, which can only be used for printing dot image originally. Then, the color management model for CRT monitor is deduced gradually though single color, double color, and tricolor conversion correction based on corrected contraction-expansion fitting and color rendering principle of CRT monitor. **Result** Experimental results show that the model can improve color management accuracy of CRT monitor above 54% and can be practically used in its color management. **Conclusion** With the help of the color rendering principle of other color devices, the model has superior reference value for color management.

Key words: color management of monitor image; Yule-Nielson equation; contraction-expansion fitting algorithm; standard color target

收稿日期: 2015-03-13; 修回日期: 2015-04-14

基金项目: 江西省自然科学基金项目(20142BAB207003)

第一作者简介: 黎新伍(1973—), 男, 教授, 2005 年于西北工业大学获信号信息处理专业博士学位, 主要研究方向为色彩管理研究。

E-mail: liyue7511@163.com

Supported by: Project supported by the Natural Science Foundation of Jiangxi Province, China (20142BAB207003)

0 引言

彩色图像处理是一种广泛应用的多媒体数据,但在图像传递和复制过程中,很容易出现图像色彩失真等问题。特别是在电子商务系统中,常因图像色彩再现的失真而导致退货投诉等诸多问题。这是由于不同厂家的同一设备或不同设备在还原和再现同一彩色图像时,其所遵循的色彩呈现原理、所使用的呈色材料各不相同,使得同一图像在不同设置中的再现结果往往有所差异。以显示器显示扫描输入图像为例,显示器是通过控制红、绿、蓝3色光枪的光量而得到色彩信息,其呈色遵循的是加色法原理的红绿蓝(R、G、B)空间,而扫描物体(原稿)的颜色特性由黄、品、青3色油墨的油墨百分比决定,其呈色遵循的是减色法原理的黄品青(Y、M、C)空间,两色空间之间直接转换的难度较大,因此保持色彩传递过程中的一致性为彩色图像处理的关键技术之一,也是业内的研究难点和热点之一。

色彩管理就是为解决彩色图像在不同色空间之间相互转换提出的技术方法,其目的是使各图像设备在复现和传递图像过程中色彩失真最小。色彩管理技术的基本步骤为:1)选择一个与设备无关的参考色空间;2)对设备的色彩图像进行特征化表示;3)建立设备无关的参考色空间与各个设备色空间之间的转换关系,确立图像文件在各个设备之间传递和转换时的色彩映射关系。本文的研究主题就是利用色彩管理技术,实现显示器的RGB色空间与XYZ色空间之间的正确转换,XYZ色空间是国际通用的、国际照明委员会推荐的与设备无关的标准色空间^[1]。

综合起来,色彩管理的基本方法主要有4类。

1) 光学参数法,David等人^[2]和许向阳等人^[3]通过分析彩色图像设备感光材料的感光特性,建立该设备的色彩转换曲线,既构建色彩转换中所涉及的呈色材料(或设备)的参数形成红绿蓝(R、G、B)、黄品青(Y、M、C)等色空间的映射关系模型。由于显示器的色彩元件中涉及太多非线性的光学特性曲线(如色彩元器件的感光特性曲线、RGB滤色曲线、光源光谱曲线等),故光线参数法在显示器的色彩管理中应用难度非常大。

2) 黑箱法,是目前色彩管理研究中应用较为广

泛的一种方法,具体方法有多项式拟合法(如文献[4-5])、多维表转换法(如文献[6-7])、线性或矩阵转换法(如文献[8-9])等,黑箱法不考虑与设备相关的呈色因素,将色空间转换过程看做一个黑匣子整体,仅仅分析和拟合控制若干样本色块转换前后的色彩值,其他色块的转换关系则可根据色块的空间位置关系进行插补得到,由于黑箱法直接利用样本色块进行色彩转换计算,因此该算法的转换精度决定于样本色块的选取,样本色块的色域范围选取不当会导致较大的色彩误差,其次转换效果还决定于样本色块的数量,样本数量大则会降低算法效率,反之则会导致较大色彩误差,因此该方法在实践应用中有较大难度,也非常不方便。

3) 纽阶堡(Neugebauer)方程法,Barnard等人^[10]和朱明等人^[11]利用各图像设备的呈色原理,将各设备的色彩呈色模型解析为白(W)、黑(BK)、R、G、B、Y、M、C 8色加色或减色呈现,该方法由于较好考虑了各设备的呈色原理,因此实际应用效果较好,但是纽阶堡方程法只适用于网点图像,对显示器、数码相机和扫描仪等非网点彩色图像则完全不适用,因此该方法实际应用范围有限。

4) BP神经网络法,在本质上该方法也属于黑箱法,如Artusi等人^[12]和刘容等人^[13]通过标准色块的色彩值建立基准数据库,作为BP神经网络的输入输出值,利用BP神经网络强大的曲线逼近能力逼近、拟合出不同色彩间的映射关系,该方法具有较好设备适用性和较高的色彩转换精度,但是由于BP神经网络法在具体运算时对中间控制上缺乏有效手段,因BP神经网络运算中容易陷入局部最优和收敛等问题难以解决,使得该方法在色彩管理的实践应用中也缺乏实用性。

尤尔-尼尔森(Yule-Nielson)方程是纽阶堡方程的改进方程^[14],也是印刷网点图像理想呈色模型,故而也只适用于印刷网点图像的色彩转换。本文将Yule-Nielson方程的参数网点面积率重新定义为色彩百分比,使得Yule-Nielson方程也适用于非印刷网点图像的呈色模型,随后根据CRT显示器的呈色原理,利用Yule-Nielson方程将显示器的色彩管理分单色、双色和3色逐层分析其呈色模型,再借由改进缩张曲线拟合算法逐层补偿CRT显示器的色彩转换误差,并分单色、双色和3色逐层对呈色方程予以修正和补偿,从而构建出CRT显示器色彩管

理新模型。

1 实验样本选取与实验数据测量

1.1 实验样本选取

CRT 显示器的呈色遵循加色法原理,即红(R)和绿(G)混合时呈现出黄色(Y),红和蓝(B)混合时呈现出品色(M),绿和蓝混合时呈现出青色(C),红、绿和蓝3色混合时呈现出白色(W)。

以 IT8/2 色靶为实验样本,色靶序号为 13x7c60103xx,2013 年由 AgFa 公司制作,其呈色材料符合 ISO12641 标准的色彩校正的反射稿色靶。对应于显示器呈色原理,IT8/2 色靶的彩色梯尺区有 3 列是单色红绿蓝(RGB)由浅入深的色块,对应于显示器的 3 色单色呈色色块;有 3 列是黄品青(YMC)由浅入深的色块,对应于显示器的双色混合呈色色块;第 16 列则是中性色灰度渐增的色块,对应于显示器的 3 色混合呈色。

1.2 数据测量和数据库建立

由于显示器在呈色原理上遵循加色法空间,因此选取色靶梯尺区色彩值建立基准数据库和选取整个色靶 288 个色块的色彩数据建立验证数据库。

以 Colortron 仪测量样本色块色度值和待色彩校正的 CRT 显示器,实验中采用飞利浦 10 759 显示器,测量流程如下:

1)测量准备。(1)在测量前,先利用 Grmma 工具(如选 Photoshop 软件中的 Grmma 工具)调整显示器至一个固定状态,此时色温为 D_{65} ; (2)利用标准黑板标定 Colortron 仪一次; (3)预热 Colortron 仪和显示器半小时,使之进入稳定工作状态。

2)采用缺省设置测量 RGB 值。(1)建立 RGB 值验证数据库,用 Colortron 仪测量色靶上的全部 288 块色块的 RGB 值建立数据库,供转换模型验证用; (2)建立 RGB 值基准数据库,选择色靶的彩色梯尺区色块的 RGB 值建立数据库,供色彩转换模型推导用。

3)采用缺省设置测量 XYZ 值。对应于 RGB 值验证数据库和 RGB 值基准数据库建立方法建立 XYZ 值验证数据库和 XYZ 值基准数据库,分别供后继模型推导和验证用。

4)转换 XYZ 数据库建立。将基准数据库(梯尺区色块)的 RGB 值按理想状态映射转换为 XYZ 值

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7689 & 1.7517 & 1.1302 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0.0000 & 0.0565 & 5.5943 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

建立转换 XYZ 数据库。

2 色彩管理算法

2.1 缩张曲线拟合算法与改进

2.1.1 缩张算法

缩张算法^[15]主要用于非线性问题的直接搜索,其主要特征是收缩、扩张搜索空间。1)收缩。算法每一轮计算中将每一个未知参数分成 5 个步点,逐个计算每个步点的目标函数值,目标函数值最小的步点将被选为下一轮计算的中心点,随后减少步长继续下一轮的寻优搜索。2)扩张。与收缩方法相同,搜索 5 个步点,逐个计算每一个尝试点时,可能的中心点选做目标函数值劣化程度小于或等于临界值(D)的渡点,随后加大步长继续下一轮的寻优搜索。扩张和收缩合在一起为一个搜索过程,再利用搜索过程的渡点数量和位置求取下一轮寻优过程的搜索步长。用临界值(D)的反馈值调节渡点数量,从而实现搜索步长调整。

2.1.2 缩张算法的算法效率改进

假设有 k 个未知参数,在 5 步点计算时每一轮有 5^k 个试算点数。当增加维数 k 时,试算点的增加为几何级数方式。例如:1 维(即只有一个未知参数)计算时,只需要试算 5 个步点,算法的计算量不大;2 维(即有 2 个未知参数)计算时,每一轮有 5^2 个步点需要计算,因此当未知参数的维数持续增加时,算法每一轮的计算量将指数级快速增加。由于每一个尝试点计算中均需要访问多个约束函数和目标函数,因此需要多个寻优过程才能实现复杂的非线性规划,如此大的计算量普通的个人计算机一般难以完成,因此缩张算法一般难以实现含有多个未知参数的非线性规划的全局最优化。

对应于本文补偿的 3 色误差,本文算法将 5 步点改进为 3 步点,此时每一轮次的搜索试算步点数目由 5^k 降为 3^k 个,可使在多维情况的步点计算效率大大增加。如,原算法 5 维的每一轮的试算点数为 $5^5 = 3125$,改进后算法的每一轮的试算步点数为 $3^5 = 243$,修正后的计算量仅为原算法的 7.8%,计算量大大减少。而当未知参数为 11 维时,

修正后的计算量仅为原算法的 0.36%, 算法效率大大提高。改进后的算法大大地减少了约束函数和目标函数的访问次数, 使算法能够实现原算法难以解决的一些问题。

当然将算法的 5 步点搜索改进为 3 步点搜索, 需要增加计算的循环过程, 考虑到本文在色空间转换模型推导时涉及 84 个色块、模型验证时仅涉及 288 块, 增加的循环次数消耗的时间总长是可控的, 本文实验结果也表明增加的循环过程幅度并不是特别大, 采用改进后的缩张算法能够在较短时间内实现全局最优结果。

2.1.3 缩张算法的中心点搜索方法改进

缩张算法在搜索过程的计算中, 要结束一轮运算后方可调整搜索中心点。因为缩张算法是以 5 个步点的平均计算为目标函数值, 计算中能使目标函数值最小的定义为收缩步, 满足一定条件的则定义为扩张步, 寻找下一轮计算的中心点时需要尝试计算每一个步点。

采用即刻调整中心点的方法来改进缩张算法的中心点搜索方法。算法在寻优过程中, 只要出现新的优化点, 就立即以该参数点为下一轮寻优中心点。实践表明该方法可以通过中心点搜索加速, 从而可以加快整个算法的寻优过程, 也易于实现整个算法的非线性规划的全局最优。

2.2 Yule-Nielson 方程

纽阶堡 (Neugebauer) 方程为^[16]

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} &= f_w \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + f_y \begin{bmatrix} X_y \\ Y_y \\ Z_y \end{bmatrix} + \\ &+ f_m \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} + f_c \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} + f_r \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix} + \\ &+ f_g \begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} + f_b \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} + f_{bk} \begin{bmatrix} X_{bk} \\ Y_{bk} \\ Z_{bk} \end{bmatrix} \quad (2) \\ f_w &= (1-c)(1-y)(1-m) \\ f_y &= y(1-c)(1-m) \\ f_c &= c(1-y)(1-m) \\ f_m &= m(1-c)(1-y) \\ f_r &= ym(1-c) \\ f_g &= yc(1-m) \end{aligned}$$

$$f_b = cm(1-y)$$

$$f_{bk} = ymc$$

式中, X_w, Y_w, Z_w 分别代表 3 色色料混合白色 (3 色百分比均为零) 的三刺激值, 具体数据可从验证数据库中读取。

$X_y, Y_y, Z_y, X_m, Y_m, Z_m, X_c, Y_c, Z_c, X_r, Y_r, Z_r, X_g, Y_g, Z_g, X_b, Y_b, Z_b, X_{bk}, Y_{bk}, Z_{bk}$, 分别代表单色黄、品、青及其红、绿、蓝双色的三刺激值, 具体数据可从验证数据库中读取。

y, m, c 分别代表黄、品、青三印刷基本色的网点面积率, 当式中有两个网点面积率为零时, 得到单色的 Neugebauer 方程, 当 $m=0$ 和 $y=0$ 成立时, 带入 Neugebauer 方程就得到了单色青的呈色模型。当式 (2) 中某一个网点面积率为零时, 同理就得到了双色 Neugebauer 方程。

Neugebauer 方程是一个理想状态下的印刷网点图像呈色模型, 1951 年, Yule-Nielson 综合考虑了各种实际呈色条件后, 提出了用指数 n (一般取值区间为 0.5 ~ 0.65) 改进该方程, 即 Yule-Nielson 方程^[16]

$$\begin{bmatrix} X_x^{\frac{1}{n_x}} \\ Y_y^{\frac{1}{n_y}} \\ Z_z^{\frac{1}{n_z}} \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^8 f_i \begin{bmatrix} X_x^{\frac{1}{n_x}} \\ Y_y^{\frac{1}{n_y}} \\ Z_z^{\frac{1}{n_z}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Yule-Nielson 方程和 Neugebauer 方程的 y, m, c 参数代表印刷基本色黄品青网点面积率, 故两方程只能表示印刷网点呈色模型, 而很多打印机和标准色靶的呈色方式是染料叠加, 显示器、数码相机等是 RGB 3 色色光混合呈色, 故而这些都不适用于 Yule-Nielson 方程。这里将 Yule-Nielson 方程参数 y, m, c 重新定义为色彩百分比, 使之也适用于显示器、数码相机等非网点图像的色彩转换。

由于显示器呈色模型遵循加色法, 而 Yule-Nielson 方程表示的图像呈色模型遵循减色法, 因此显示器中的 RGB 单色在 Yule-Nielson 方程应理解为双色, 而显示器中的双色 YMC 则应理解为单色, 显示器中的 3 色白 (W) 在 Yule-Nielson 方程应理解 3 色黑或中性灰 (BK), 尽管不影响方程的应用, 在参数修改后方程的理解上应予以注意。

2.3 色彩管理计算模型

2.3.1 单色误差修正

利用单色 Yule-Nielson 方程, 以转化数据库中

单色色块(色靶梯尺区第13~15列)XYZ值为输入值,这里以品为例(品色对于显示器为双色,但是对于Neugebauer方程为单色),通过 X 、 Y 、 Z 3个方程能够计算得到大小不等的3个品色色彩百分比 m_1 、 m_2 和 m_3 ,并且假定 $m_1 \geq m_2 \geq m_3$;对同一色块得到色彩百分比值在理论上应该相等,但是实验结果(通过仔细分析理想转换方程系数也可以)表明通过 X 方程求取得到的色彩百分比值最大,通过 Z 方程求取得到的色彩百分比值最小,由于显示器色彩混合时的底色影响,以及色靶制作时色料叠加的润涨作用都会使得色彩百分比有增大的趋势,故而以最小的色彩百分比值 y_3 为基准进行单色误差补偿。利用修正的缩张拟合算法进行误差曲线拟合,分别拟合出 m_1 和 m_3 、 m_2 和 m_3 之间的差值方程,分别表示为 $a_d m^2 + b_d m + d_d = 0$ 和 $a_z m^2 + (b_z + 1)m + d_z = 0$,即为单色误差补偿方程,据此进行显示器单色误差修正和补偿,既可以得到单色校正的Yule-Nielson方程。修正前的单色Yule-Nielson方程为

$$\begin{bmatrix} X_w^{\frac{1}{n}} \\ Y_w^{\frac{1}{n}} \\ Z_w^{\frac{1}{n}} \end{bmatrix} = (1 - m) \begin{bmatrix} X_m^{\frac{1}{n}} \\ Y_m^{\frac{1}{n}} \\ Z_m^{\frac{1}{n}} \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} X_c^{\frac{1}{n}} \\ Y_c^{\frac{1}{n}} \\ Z_c^{\frac{1}{n}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

单色M的Yule-Nielson修正方程为

$$\begin{bmatrix} X_w^{\frac{1}{n}} \\ Y_w^{\frac{1}{n}} \\ Z_w^{\frac{1}{n}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 - (a_d m^2 + (b_d + 1)m + d_d)) X_w^{\frac{1}{n}} \\ (1 - (a_z m^2 + (b_z + 1)m + d_z)) Y_w^{\frac{1}{n}} \\ (1 - m) Z_w^{\frac{1}{n}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (a_d m^2 + (b_d + 1)m + d_d) X_c^{\frac{1}{n}} \\ (a_z m^2 + (b_z + 1)m + d_z) Y_c^{\frac{1}{n}} \\ m Z_c^{\frac{1}{n}} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, a_d 、 b_d 、 d_d 和 a_z 、 b_z 、 d_z 分别为 $(m_1 - m_3)$ 和 $(m_2 - m_3)$ 的拟合曲线系数。

2.3.2 双色误差修正

利用经过单色修正的双色Yule-Nielson方程,分别以梯尺区双色色块(第17~19列)计算得到的XYZ值为输入值,通过 XY 、 XZ 、 YZ 方程联立的方式,能够计算得到大小不等的3个双色色彩百分比乘积值,以 $Y + M = R$ 为例,则得到的是大小不等的 ym_1 、 ym_2 和 ym_3 ,并且假定 $ym_1 \geq ym_2 \geq ym_3$ 。依据单色校正方法,以 ym_3 为标准值,利用修正的缩张拟合算法分别拟合出 ym_1 和 ym_3 、 ym_2 和 ym_3 之间的差

值方程,得到的拟合方程即为双色色误差补偿方程,据此进行显示器双色误差修正和补偿,既可以得到双色校正的Yule-Nielson方程。

2.3.3 3色误差修正

利用经过双色修正的3色Yule-Nielson方程,以梯尺区3色色块(色靶的第16列)计算得到的XYZ值为输入值,计算求取黄品青色彩百分比乘积 ymc_1 ;读取基准数据库中梯尺区3色色块的XYZ的标准值为输入值,计算求取黄品青色彩百分比乘积 ymc_2 ;以 ymc_2 为标准值,用修正后的缩张拟合方程拟合出 ymc_1 和 ymc_2 之间的差值方程,得到的拟合方程即为3色误差补偿方程,据此进行显示器3色误差修正和补偿。得到3色校正的Yule-Nielson方程即为本文提出的色彩管理方程。

3 实验验证

本文用C语言为编程语言,色靶为样本数据,通过显示器显示整个色靶288个验证色块,并测量显示这些色块色彩值,利用提出的色彩管理模型,实现了显示器色彩管理模型的实验验证。表1为3色实验色块的校正结果,由于中性灰梯尺色块是由3色染料叠加混合呈色,因此此处的色彩误差一般情况下是最大的。表1中 X_b 、 Y_b 、 Z_b 、 X_q 、 Y_q 、 Z_q 、 ΔE 分别表示 X 、

表1 白/黑(灰梯尺)的实验数据统计
Table 1 The experimental data statistics
of White/Black (Grey scale)

序号	X_b	Y_b	Z_b	X_q	Y_q	Z_q	ΔE
1	92.95	98.13	105.23	93.78	97.31	107.34	2.41
2	79.46	84.40	88.99	81.99	87.93	91.47	5.00
3	62.02	65.28	65.55	65.57	69.88	69.77	7.18
4	47.58	50.11	52.56	52.04	53.56	57.88	7.75
5	36.42	38.68	40.28	41.78	42.65	45.47	8.45
6	28.52	30.57	31.69	32.78	35.45	37.73	8.86
7	19.46	20.72	21.97	24.67	25.98	26.41	8.63
8	11.48	12.08	13.43	14.65	14.78	16.76	5.33
9	6.96	7.25	8.52	9.30	9.13	10.46	3.57
10	4.28	4.41	5.64	6.46	6.47	7.48	3.52
11	2.32	2.21	3.61	2.67	2.79	4.66	1.25
12	1.39	1.28	2.91	1.39	1.28	2.91	0

Y、Z 三刺激值的标准值(通过基准数据库中读取得到),本文模型计算得到的 X、Y、Z 值和色彩误差^[17]

$$(\Delta E = \sqrt{(X_b - X_q)^2 + (Y_b - Y_q)^2 + (Z_b - Z_q)^2})$$

表 2 为用本文算法、多项式拟合算法^[4]、光学参数算法^[3]、BP 神经网络算法^[13]对 IT8/2 色靶上全部色块(288 块色块)的色彩转换精度统计结果。

表 2 不同算法的转换精度统计表
Table 2 Convesion accuracy of different algorithms

算法	参数	精度
本文	平均色差/NBS	5. 19
	最大色差/NBS	14. 21
	色差量超过 6 NBS 的色块数	15
	时间消耗/s	13
多项式拟合	平均色差/NBS	14. 03
	最大色差/NBS	25. 22
	色差量超过 6 NBS 的色块数	40
	时间消耗/s	13
光学参数分析	平均色差/NBS	18. 32
	最大色差/NBS	44. 61
	色差量超过 6 NBS 的色块数	77
	时间消耗/s	14
BP 神经网络	平均色差/NBS	7. 98
	最大色差/NBS	19. 33
	色差量超过 6 NBS 的色块数	18
	时间消耗/s	567

表 2 的实验结果表明,所验证的全部 288 块样本色块,本文模型的平均校正色差无论是在平均色差、最大色差和色差量超过 6NBS(NBS 是美国国家标准局使用的色差单位)的色块数都优于多项式拟合算法光学参数法,但是时间消耗与其他两个算法基本相同;在转换精度上,相较于 BP 神经网络,本文算法提高了 54%,时间消耗却仅仅是 BP 神经网络算法的 2%。此外,本文模型实现的平均校正色差为 5. 19 NBS,根据色度学的普遍认可研究结果,一般当 $\Delta E < 6$ NBS 时,在加色法呈色时可认为视觉等效。

4 结 论

本文提出了一种基于 Yule-Nielson 方程的显示

器彩色图像色彩管理新模型。首先,将 Yule-Nielson 方程参数网点百分率重新解释为色彩百分比,使原本只适用于印刷网点成像的 Yule-Nielson 方程也适用于非网点成像的色彩转换,扩大了该方程的应用范围;其次,采用 IT8/2 色靶为实验样本,并与显示器呈色原理对应,以色靶彩色梯尺区色块代表整个色空间为样本色块,从而解决了色彩管理实验色块选取的难题;最后以 Yule-Nielson 方程为彩色显示器色彩管理模型,利用修正后的缩张拟合算法分单色、双色、3 色逐层考察和补偿色彩误差,推导出显示器色彩管理新模型。实验结果表明,本文算法不仅解决了传统方法实验样本选取的难题,而且这种注重了呈色的内在机理,逐层分析和补偿色彩误差的方法能够提高显示器的色彩管理精度。要真正做到彩色图像在图像复现设备中的色彩一致性,需要解决各个图像复现设备(数码相机、扫描仪、显示器、打印机等)的色彩管理模型,而本文模型只是针对显示器的色彩管理,因此模型的应用普适性还不够,将本文研究思路应用于其他彩色图像复现设备的色彩管理是后期的研究方向。

参考文献 (References)

[1] Zhao C F. The influence on color control in printing of paper's property [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2014. [赵晨飞. 纸张性能对色彩控制的影响 [D]. 西安:陕西科技大学, 2014.]

[2] David W, Ganesh S S. Maintaining an accurate color characterization of print image [J]. Color Research and Application, 2014, 22(6): 803-812.

[3] Xu X Y, Zhu Y H, Sang F X. Image-dependnet gamut mapping algorithm [J]. Journal of Wuhan University: Information Science Version, 2012, 37(5): 626-629. [许向阳, 朱元泓, 桑凤仙. 与图像内容相关的色域映射算法研究 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2012, 37(5): 626-629.]

[4] Jurgen L P, Christopher S C. An evaluation of methods for producing desired colors on CRT monitors [J]. Color Review, 2013, 19(4): 172-186.

[5] Gong Q, Li Y N. Precision of polynomial regression algorithm in color management [J]. Package Engineering, 2014, 35(3): 93-96. [弓镭, 李艳妮. 可变局部多项式拟合在色彩转换中的精度研究 [J]. 包装工程, 2014, 35(3): 93-96.]

[6] Jou J M, Kuang S R, Chen R D. A new efficient algorithm for color correction [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 2013, 46(6): 733-775.

- [7] Guo H N, Cao J Z, Wang H. Color management of sRGB color space for HDR digital camera[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(12): 238-242. [郭惠楠, 曹剑中, 王华. 高动态范围数字相机 sRGB 色彩空间颜色管理[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(12): 238-242.]
- [8] Lee D, Plataniotis K D. Lossless compression of HDR color filter array image for the digital camera pipeline[J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2012, 27(6): 637-649.
- [9] Chen M, Liu X. Color space conversion model based on the least square vector machine[J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2013, 29(3): 338-342. [陈梅, 刘昕. 基于最小二乘支持向量机的色彩空间转换模型[J]. 西安理工大学学报, 2013, 29(3): 338-342.]
- [10] Barnard K, Cardei V D, Funt B. A comparison of computational color constancy algorithms based on Neugebauer Equation[J]. *IEEE Transactions on Imaging Processing*, 2014, 11(9): 972-984.
- [11] Zhu M, Liu Z, Chen G X. Research on six-color separation model based on subarea Neugebauer equations[J]. *ACTA Optic Sinica*, 2011, 31(7): 281-290. [朱明, 刘真, 陈广学. 基于分区纽堡方程的6色印刷分色模型研究[J]. 光学学报, 2011, 31(7): 281-290.]
- [12] Artusi A, Wilkie A L. Novel color printer characterization model[J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2013, 12(3): 448-458.
- [13] Liu R, Wang Q, Liu Z. Compensation model of color separation algorithm based on neural network model[J]. *Package Engineering*, 2013, 34(13): 94-98. [刘容, 王强, 刘真. 基于神经网络分色算法的补偿模型[J]. 包装工程, 2013, 34(13): 94-98.]
- [14] Yan L. Spectral reflectance modification of Neugebauer equations[J]. *TAGA*, 2011, 39(3): 154-166.
- [15] Gu S L, Xu C W, Peng J M. Testing of optimal fitting nonlinear equation with contraction expansion algorithm[J]. *Journal Yangzhou University*, 2001, 4(3): 78-82. [顾世梁, 徐辰武, 蒯建敏. 用缩张算法最优拟合非线性方程的检验[J]. 扬州大学学报, 2001, 4(3): 78-82.]
- [16] Huntsma G T. A simple alternative to Neugebauer equation for computing dot area and dot gain color[J]. *Color Research*, 2011, 25(2): 99-106.
- [17] Liu P, Liu Z, Zhu M. The channel-signal reproduction of multi-color printer based on gamut partition iterative subdivision[J]. *ACTA Electronic Sinica*, 2015, 43(1): 69-73. [刘攀, 刘真, 朱明. 基于分区空间的三色打印机通道信号复制方案[J]. 电子学报, 2015, 43(1): 69-73.]