

# 面向家纺产品云定制的数码喷印颜色管理技术

## Digital Printing Color Management Technology for Housing Textile Massive Customization

金小团/JIN Xiaotuan  
陈刚/CHEN Gang  
陈纯/CHEN Chun

(国家数码喷印工程技术研究中心, 浙江杭州 310052)  
(National Engineering Technology Research Center on Digital Textile Printing, Hangzhou 310052, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0047-004

**摘要:** 认为家纺产品云定制的核心技术难点是对产品的图案色彩进行管理, 减小甚至消除由于显示器和数码喷印机成色原理不同导致的色差问题。从色彩一致性建模入手, 提出了面向设备和面料无关的颜色一致性度量学习算法、可伸缩的颜色一致性度量学习算法、感知驱动的面料颜色增强等面向家纺产品云定制的颜色管理关键技术。此外, 还介绍了一款宽幅自动色彩扫描装置, 可用来采集产品的颜色信息, 即色彩管理算法的基础数据。

**关键词:** 家纺产品大规模定制; 数码喷印; 颜色管理; 大数据驱动

**Abstract:** The core technological difficulty of cloud-based customization is the color management of products. It can reduce the risk of color differences due to the different coloring mechanisms of the display device, printing equipment and fabric material. We propose the device-independent and fabric-independent color consistency metric learning algorithm, scalable color consistency measure learning algorithm, perception-driven fabrics' color enhancement and other key technologies of color management used for the cloud-based customization of home textile products. In addition, a wide-format color scanning device is designed to collect the product's color information, which is the basic data for color management algorithm.

**Keywords:** massive household textile customization; digital textile printing; color management; big-data driven

纺织工业是中国国民经济的民生产业。随着社会的进步和生活水平的提高, 人们对于纺织品的消费理念已经发生了重大变化, 正呈现出个性化、时尚化与整体化的发展趋势, 以往大批量生产提供的标准化产品已经不能满足消费者的需求。企业也由此面临着提高产品创新能力、缩短交货期和改善服务的压力, 必须对不断变化的市场做出快速反应。

但目前传统纺织业尚不能很好适应这一挑战, 存在着诸多问题亟待解决。传统纺织印染行业采用“分色→制版→调浆调色→打样→批量生产”的工艺流程, 只能支持“大批量、少品类、慢变化”的制造模式, 无法实现“多品类、小批量乃至单批量”, 不能适应纺织行业“个性化、时尚化与整体化”的发展趋势。另一方面, 受限于可生产的产品种类, 大量设计方

案浪费, 大批设计师聪明才智不能得到充分发挥, 中国纺织行业目前尚处于附加值低、薄利多销的初级阶段, 这制约着纺织行业从中国制造走向中国创造。

基于四色印刷(CMYK)四基色混色的纺织品数码喷印技术的出现, 对纺织印染业的生产工艺产生了颠覆式的变革, 也为家纺产品云定制提供了可能。

在这一新型工艺的支持下, 针对目前家纺行业提出的重大需求, 以互联网为平台, 以家纺产品个性化定制与虚拟真实感展示为亮点, 以智能化

专家设计系统为支撑, 以数字化生产工艺为核心, 以新型行业标准体系为基础, 构建家纺产品云定制平台, 可逐步形成全新的家纺领域产业生态系统, 改变当前家纺产业低附加值、薄利多销、高能耗、高排放的格局, 实现整个家纺行业的技术与商业模式的革命。

### 1 颜色管理在家纺产品云定制技术体系中的重要作用

在个性化纺织品云定制的设计生产流程中, 产品设计师设计出海量的花型方案, 最终用户通过互联网平

收稿时间: 2016-07-15

网络出版时间: 2016-09-12

基金项目: 国家高技术研究发展(“863”)计划(2013AA040601)

台在现有设计方案的基础上对花型、色彩等进行定制,形成个性化的产品设计稿并进行在线支付,生产厂家在平台上接收用户订单,安排后续喷印生产,并将产品寄送给用户。

在如上所述的纺织品云定制流程中,要实现“所见即所得”的个性化定制,最为核心的技术难点就是要解决设计师、最终用户、生产厂家的多种显示器、数码喷印机之间的色差问题。这一问题的成因主要有以下3个方面。

(1)三原色(RGB)色彩空间和CMYK色彩空间的色彩表达能力不同。设计师和最终用户使用的色彩输出设备是显示器,采用RGB色彩模式,而生产厂家使用的色彩输出设备是数码喷印机,采用CMYK色彩模式。这两种色彩模式的色彩空间不存在一一对应的关系,且CMYK色彩空间小于RGB色彩空间,需要在产品设计时在RGB色彩空间中模拟CMYK颜色。

(2)不同品牌、型号的显示器之间色彩表现力也不尽相同,甚至同一台显示器由于亮度、对比度参数设置的不同也会导致人眼看到的色彩有所差异。传统方法需要用校色仪等专业设备对显示器进行校准,设备成本高,操作复杂,无法在大量最终用户中推广应用。

(3)数码喷印生产时不同批次的墨水会对产品色彩产生影响,需要通过打样等工序进行颜色校准。在传统的大批量生产模式中,打样产生的成本可以在批量生产中摊薄,对于小批量、单批量的个性化云定制纺织品,反复打样将造成生产成本的激增。必须通过对数码喷印色彩进行建模和补偿,实现准确的颜色管理,才能有效的控制打样成本。

综合上述3个因素,通过技术手段缩小或消除不同输出设备之间的色彩差异,是保证纺织品云定制产品质量,提高产品附加值,使个性化纺织品云定制真正落地实现的基础性、

关键性核心技术问题。

## 2 面向家纺产品云定制的颜色管理关键技术

面向家纺产品云定制的颜色管理主要包括色彩一致性、颜色一致性度量学习、感知驱动的颜色增强、主题色提取等关键技术。在这些技术领域,前人已经开展了一些基础性的研究工作,如:在色彩一致性方面,国际照明委员会(CIE)提出了CIE DE94、CIE DE2000<sup>[1]</sup>等色差公式,另外文献[2]提出了视觉感知保真度颜色误差测量准则S-CIELAB;在颜色一致性度量学习方面,目前已经有物理转换模型<sup>[3-4]</sup>、数值量化转换模型<sup>[5-7]</sup>、3D LUT法<sup>[8]</sup>等3类模型;在感知驱动的色彩增强方面,现有方法一般将视觉感知特征应用于图像增强处理中,很少应用于纺织品印染的颜色增强;在主题色提取方面,也已经出现了基于聚类<sup>[9-10]</sup>、颜色直方图<sup>[11]</sup>、人眼视觉模拟<sup>[12]</sup>等技术的方法。

这些现有技术由于其提出的背景均不是家纺产品云定制,直接应用在纺织品颜色管理中往往效果不佳,或需要大量的人工干预操作,无法满足大规模云定制的色彩管理需求。为此,本文提出了一套面向家纺产品云定制的颜色管理技术。

### 2.1 色彩一致性模型构建

现有的色差公式和色彩一致性评估模型主要针对于通用色彩一致性情况,对纺织品印染的颜色管理并不完全适用。新的颜色一致性评估模型需要能够贴近模拟人眼的主观感受,通过对色调、饱和度、亮度的视觉先验学习,构造与人类视觉最匹配的色彩一致性评估模型。为此,作者提出了先进行主题色提取,再进行色彩一致性评估的技术思路。

在主题色提取方面,作者提出的算法将图片按照颜色、边缘属性进行精细化分割<sup>[13]</sup>。在精细划分获得颜色的多个类基础上,根据人的视觉特

性与图像中颜色的空间分布来定义并构造图模型,并以能量方程描述,包含颜色空间一致性、图像结构信息、图像通道感知优先度等人类视觉特性和其他颜色的相关性信息,以及颜色节点本身信息。通过最小化能量函数,获得需要提取的主题色。

针对纺织品颜色一致性的评估,现有的色差公式CIE2000有相对较小的色差,但和人类视觉观察结果仍存在明显差异。为了求取出的色差与人眼观察结果相近,拟在计算色差前加入可以去除图像中人眼视觉察觉不到信息的空间预处理函数(CSF),并对已经求得的色差进行池化操作,求得颜色一致性值,以实现与人类视觉复杂感知机制相匹配。

### 2.2 面向设备和面料无关的颜色

#### 一致性度量学习算法

颜色的显示与呈现对设备有较强的依赖性,针对3种不同级别的用户(最终用户、产品设计师、纺织品制造商),提供相应的校准流程,使得显示器处于设定的标准状态,解决显示器设备的差异性。需要对每台数码喷印设备与布料分别进行颜色一致性度量学习,并生成对应的国际色彩联盟(ICC)文件。

以数码喷印机的ICC制作为例,通常在CMYK或CMYK多通道与设备无关颜色空间中会存在多种映射关系,直接进行深度神经网络模型的学习,学习出来的模型泛化性较差。作者提出了通过现有公式将设备相关颜色空间中的颜色转换到设备无关颜色空间,使得转换后的颜色空间与设备无关颜色空间处于同一空间,然后将颜色空间划分为若干个子空间。然后对每个子空间分别利用如图1所示的径向基函数(RBF)神经网络模型学习对应转换关系<sup>[14]</sup>。图2为我们算法生成ICC文件将RGB色块集转换为CMYK色块集效果图,通过图2可以看出,RGB图转换为CMYK图并印染后,色差在人眼可察觉范围

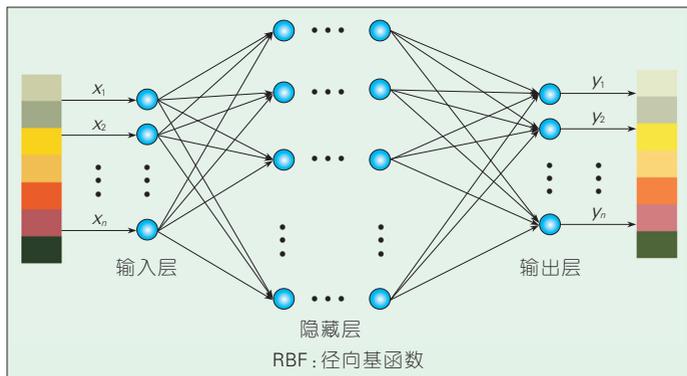


图1  
RBF神经网络

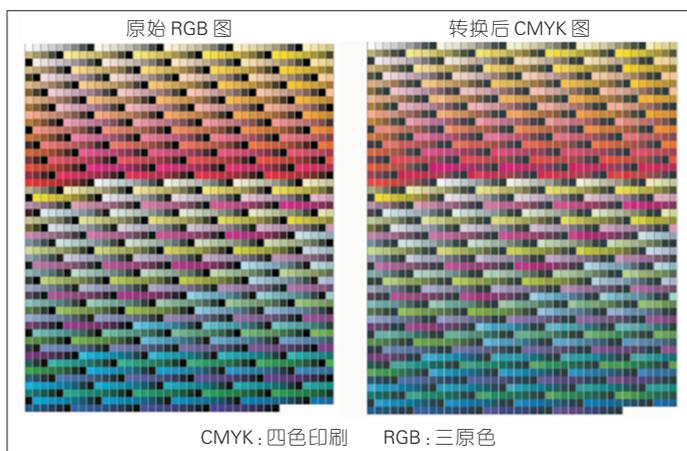


图2  
原始 RGB 图与转换后 CMYK 印染效果图

内,满足用户较高的印染需求。

### 2.3 可伸缩的颜色一致性度量学习

#### 算法

不同的用户对颜色重现的效果需求是存在差异的。针对通用情况,利用数码喷印机-显示器组合采集数据,通过色差最小化求解不同面料和显示器以及不同面料之间的颜色一致性通用色彩变换函数,基于变换函数生成对应的 ICC 文件。

对于有个性化需求的用户,可以采用通用色彩变换函数与用户个性化颜色需求相结合的方式,通过色差最小化求解针对该用户需求的定制色彩变换函数,然后利用个性化变换函数,生成对应的 ICC 文件。用户个性化颜色需求从用户提供的图片中提取出主题色,用于优化颜色变换函数,图3为此算法提取出主题色与人类提取出主题色对比图,该算法可以较好的提取出人类视觉关注的主题

色,以满足用户个性化需求。

### 2.4 感知驱动的面料颜色增强

通过研究对色域内颜色感知的分布,获得颜色感知先验分布,在保持重现真实颜色的基础上,对重要的颜色进行增强处理,使得处理后的颜

色效果满足用户的主观感受需求。对彩色图像进行感知的视觉暗示包括3个方面:颜色空间一致性、图像结构信息、图像通道感知优先度<sup>[5]</sup>。颜色空间一致性描述了图像中颜色相对位置存在的关系,去除独立于颜色通道的亮度通道,在色调通道与色度通道上获得颜色空间的一致性;图像结构信息描述了图像中色调、色度、亮度在3个通道上的变化,通过整合在3个通道上的梯度差来获得图像结构信息;图像感知优先度描述了人类视觉在观察一幅图像时对色调、色度、亮度3个通道的感知次序,可以分别通过3个通道上的梯度差来获得量化的权重。基于这3方面的视觉暗示,构造出基于视觉感知的颜色增强概率图模型,并将提取出的视觉暗示最大化地应用于增强后的图像,以此来实现该模型。

## 3 宽幅自动色彩扫描装置

上述颜色管理关键技术均需要对家纺产品的实际色彩进行准确测量,为此,作者设计了宽幅自动色彩扫描装置。该装置主要由测色平台、自动滑轴、照相机、测色仪构成,结构如图4所示。在测色开始之前,通过照相机获得印染好的色块集在测色平台上的图片,利用图像处理算法获得色块集的位置信息,包含印染色块

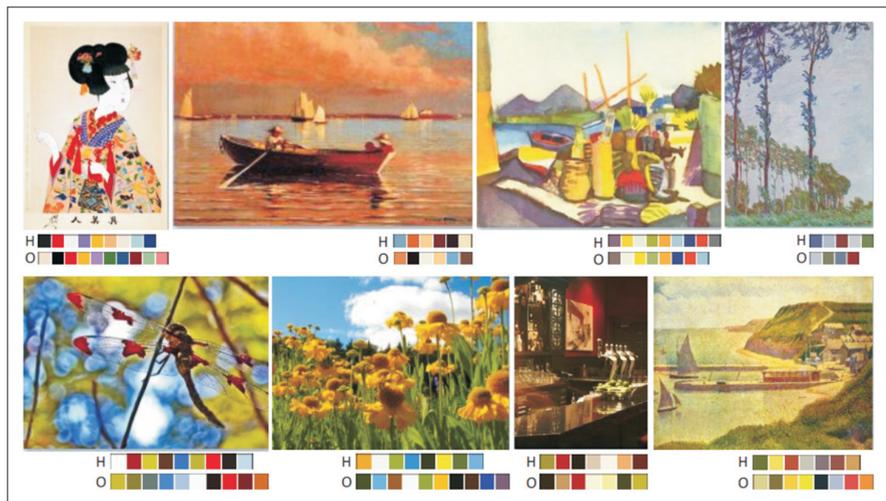
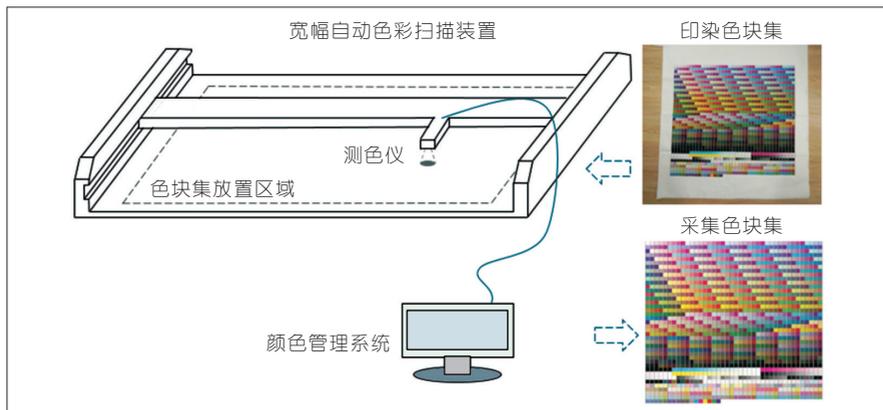


图3 算法提取出主题色与人类提取出主题色对比



▲图4 宽幅自动色彩扫描装置

集拉伸与形变位置信息,根据位置信息,计算出测色仪的扫描路径,然后通过X、Y轴方向的移动自动获得被测样品上的所有色块值,测得数据自动输入计算机,进行色彩测量值的误差补偿后,保存用于颜色一致性度量学习的预处理数据。

#### 4 结束语

随着家纺产品个性化、时装化、整体化发展趋势的日益凸显,依托互联网和数码喷印技术进行家纺产品云定制将对家纺行业的技术和商业模式产生革命性的影响。在互联网平台上进行家纺产品云定制,其主要核心是对产品的图案色彩进行管理,减小甚至消除由于显示器和数码喷印机成色原理不同导致的色差问题。本文从色彩一致性建模入手,提出了面向设备和面料无关的颜色一致性度量学习算法、可伸缩的颜色一致性度量学习算法、感知驱动的面料颜色增强等面向家纺产品云定制的颜色管理关键技术,并研制了宽幅自动色彩扫描装置采集产品的颜色信息作为色彩管理的基础数据。

应用本文研发的技术和装置,作者所在的国家数码喷印工程技术研究中心搭建了家纺产品在线云定制平台,探索了实现了家纺产品的在线大批量定制和设计、制造、商务、物流的一条龙服务模式。与相关企业合作,在江苏南通建成了年产量10 000

平方米以上的家纺大批量定制生产示范应用基地,提高了应用单位的产品附加值,促进了家纺行业的转型升级,取得了显著的社会经济效益。

#### 致谢

本研究得到宋明黎教授和吴晓凡博士的帮助,谨致谢意!

#### 参考文献

- [1] CIE. Technical Report: Industrial Color-difference Evaluation[R]. Vienna: Central Bureau of the CIE, 1995
- [2] ZHANG X, WANDELL B A. A Spatial Extension to CIELAB for Digital Color Image Reproduction[C]// Proceedings of the SID Symposiums, USA:SID, 1996(27):731-734
- [3] BERNIS R S, MOTTA R J, GORZYNSKI M E. CRT Colorimetry. Part I: Theory and Practice [J]. Color Research & Application, 1993, 18 (5): 299-314. DOI:10.1002/col.5080180504
- [4] KATOH N, DEGUCHI T, BERNIS R. An Accurate Characterization of CRT Monitor (I) Verifications of Past Studies and Clarifications of Gamma[J]. Optical Review. 2001, 8(5):305-314. DOI:10.1007/s10043-001-0305-0
- [5] SUN B, LIU H, ZHOU S, et al. Evaluating the Performance of Polynomial Regression Method with Different Parameters during Color Characterization[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014, 20(3):1-7
- [6] CHO M S, KANG B H, LUO M R. Device Calibration of a Color Image Scanner Digitizing System by Using Neural Networks [C]// Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on, USA:IEEE, 1995(1):59-62. DOI:10.1109/ICNN.1995.487877
- [7] CHAN J Z, ALLEBACH J P, BOUMAN C A. Sequential Linear Interpolation of Multidimensional Functions[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6 (9):1231-1245. DOI:10.1109/83.623187
- [8] BASTANI B, CRESSMAN B, FUNT B. Calibrated Color Mapping Between LCD and CRT Displays: A Case Study[J]. Color

- Research & Application, 2005, 30(6):438-447
- [9] WEEKS A, HAGUE G. Color Segmentation in the Hsi Color Space Using the K-means Algorithm[C]// Electronic Imaging. International Society for Optics and Photonics, USA: SPIE, 1997:143-154
- [10] BEZDEK J C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1981
- [11] DELON J, DESOLNEUX A, Lisani J L, et al. Automatic color palette[J]. Inverse Problems and Imaging, 2005, 1(2):706-709. DOI:10.1109/ICIP.2005.1530153
- [12] LIN S, HANRAHAN P. Modeling How People Extract Color Themes From Images [C]// SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, USA:ACM, 2013: 3101-3110. DOI:10.1145/2470654.2466424
- [13] LIU X, SONG M L, TAO D C, et al. Random Geometric Prior Forest for Multi-Class Object Segmentation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2015, 24(10):3060-3070. DOI:10.1109/TIP.2015.2432711
- [14] SONG M L, TAO D C, HUANG X Q, et al. Three-Dimensional Face Reconstruction From a Single Image by a Coupled RBF Network[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(5):2887-2897. DOI: 10.1109/TIP.2012.2183882
- [15] SONG M L, TAO D C, CHEN C, et al. Color to Gray: Visual Cue Preservation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(9):1537-1552. DOI:10.1109/TPAMI.2009.74

#### 作者简介



**金小团**, 国家数码喷印工程技术研究中心主任、杭州宏华数码科技股份有限公司总经理; 主要研究领域为织物数码喷印技术及装备; 先后主持和参与多项科技项目, 获国家技术发明二等奖1项, 省部级科技进步一等奖2项。



**陈刚**, 国家数码喷印工程技术研究中心技术骨干、浙江大学计算机学院副院长; 主要研究领域为大数据智能计算、数据库管理系统等; 近五年先后主持国家级科技项目4项, 获国家科技进步二等奖1项, 省部级科技进步一等奖2项; 曾发表SCI/EI论文100余篇, 获VLDB 2014最佳论文奖。



**陈纯**, 国家数码喷印工程技术研究中心首席科学家、中国科学院院士; 主要研究领域为计算机图形图像、海量数据处理等; 先后共主持国家级科技项目10余项, 获国家技术发明二等奖1项, 科技进步二等奖1项、三等奖1项, 省部级科技进步一等奖2项; 曾发表高水平学术论文160多篇, 获AAAI 2012最佳论文奖。