

激光数码冲印机颜色校正方法研究*

谭力 向前涌 刘玉玲 余飞鸿 叶子

(浙江大学光电系现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 建立了激光数码冲印设备中颜色校正的理论模型, 通过集成的扫描密度计扫描测试照片的密度值, 找到激光数码冲印设备中颜色的输入输出关系, 在色域映射的基础上得出了由密度实现真实颜色再现的理论模型, 完整地实现了激光数码冲印设备的颜色的真实再现。

关键词 激光数码冲印; 颜色校正; 设备特性描述; 色域映射; 密度; 色度

中图分类号 TP334.3 **文献标识码** A

0 引言

随着计算机与电子产业的飞速发展, 数码相机技术的日新月异, 各行各业对各种数字图像的应用需求也越来越多, 传统的底片冲印彩扩机已经不能满足人们日益发展的需要。在前几年, 数字图像的打印输出方式(如热升华打印, 彩色喷墨打印, 激光打印等)较为普遍, 但若打印出传统照片素质的照片, 必须使用高素质的打印机和优质耗材, 输出照片的成本非常高^[1]。

数码冲印设备的推出为数码图片的输出提供了便利和实惠。同时, 由于激光的亮度高, 色度纯, 方向性, 单色性及相干性好等特点, 越来越多的数码冲印设备采用激光作为曝光光源^[2]。即, 将计算机中图片的数字信息经过数模转换, 控制红、绿、蓝三色激光器的发光强度, 彩色相纸曝光后通过化学药液加工成彩色照片。

冲印设备的数码化是图像输出设备的发展潮流, 而激光数码冲印技术无论在清晰度、质感还是色彩等各方面都是目前各种输出手段中最好的^[1,2], 成本与其它各种数字图像的输出手段相比也是比较低的, 因此激光数码冲印技术毋庸置疑地成为了数字图片输出的主流技术。

当彩色图像从显示器, 经过数码曝光, 在相纸上输出的时候, 由于不同的颜色设备显示颜色的机理不同, 必需要对原始图像经过颜色校正, 才能使激光数码冲印设备的输出达到“所见即所得”效果^[3]。本文在分析激光数码冲印过程机制的基础上, 研究了从CRT显示器到相纸输出的颜色校正问题, 建立了一套完整的用于激光数码冲印设备颜色真实再现的完整模型, 并在实际中取得了良好的效果。

1 设备颜色特性描述

所谓设备颜色特性描述, 就是指建立设备色空间和某一标准的与设备无关的色空间之间的对应关系^[4]。因为颜色校正的算法都需要在与设备无关的色空间中进行才有可重复性。与设备无关的色空间有很多, 如, CIE(国际照明委员会)所规定的一套颜色表示系统 CIEXYZ, CIELAB 等。我们这里讨论的是 CIEXYZ 色空间。

1.1 CRT 显示器的颜色特性描述

CRT 的设备色空间为 RGB, 它有 256 个灰度级的 RGB 值, 可以表示 $256 \times 256 \times 256$ 种不同的颜色。每一种颜色都对应了一个 CIEXYZ 值, 怎样将显示器中一种颜色的 RGB 值转化为与设备无关的 XYZ 值, 是实现数码冲印颜色真实再现首要解决的问题。

为了使描述颜色特性的模型切实可行, 假设 CRT 三枪显示时具有空间独立性、空间均匀性、时间稳定性、时间独立性。这样颜色的三刺激值和 CRT 的三枪亮度有以下关系

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_r/y_r & x_g/y_g & x_b/y_b \\ 1 & 1 & 1 \\ z_r/y_r & z_g/y_g & z_b/y_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_r \\ L_g \\ L_b \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 $L_i (i=r, g, b)$ 分别表示三枪的亮度值, x_i, y_i, z_i 为色品坐标, XYZ 为相应颜色的三刺激值。通常情况下 CRT 的三枪亮度值和它的数字驱动 RGB 值, 不是一个线性关系, 要经过 gamma 校正。校正的模型有很多种, 如 GOG, LOG-LOG, LOG-LOG2 等, 我们采用的是校正一致性相对好的 GOG 模型^[5], 其转换方程为

$$\log L_i = c_1 \log ((1 - c_2) M_i + c_2) \quad (2)$$

式中 M_i 分别表示 L_i 对应的 RGB 值, c_1, c_2 为转换系数。

采用上述方法, 对一台已经校准好的显示器进行颜色测量, 通过最小二乘法拟和得到各系数, 最后确定由显示器的 RGB 值到与设备无关的颜色三刺

*国家科委高新技术产业项目

Tel: 0571-87951958 Email: itanli@hotmail.com

收稿日期: 2003-06-26

激值的转换关系.

1.2 激光数码冲印设备输入输出特性描述

在激光数码冲印设备中使用红、绿、蓝三色激光在彩色相纸上曝光,得到我们想要的图像输出.激光束的强弱不同,对应了扫描经过的点的颜色的不同.激光束的强度由声光调制器(AOM)的输入声光电压值(AO_r, AO_g, AO_b)控制.要描述激光数码冲印设备的输出特性,也就是要找到该设备中激光器的输入强度和最终在相纸上得到的输出颜色之间的关系.激光曝光系统是冲印设备中的核心部分,能否得到“所见即所得”的图像关键就在于冲印设备的输入输出关系能否准确校正.

由互易定律我们知道曝光能量决定了影像密度,当曝光时间一定时,影像密度就由曝光强度决定了.因此考虑首先找到曝光强度和影像密度的关系,再通过颜色的三彩色密度和颜色的三刺激值之间的转换^[6],得到曝光强度和输出颜色的关系.

相纸的感光特性曲线告诉我们输出影像的密度(D_r, D_g, D_b)分别和三色激光曝光强度,即控制三色激光的声光电压(AO_r, AO_g, AO_b)成对数关系.但是实际当中,不能认为这是简单的一维对应关系,而是会相互影响.比如若只改变红色激光器的声光电压值,蓝色和绿色的不变,相应的输出颜色对应着颜色的三彩色密度的三个分量都会改变,而不是仅仅红色密度分量改变了.并且影响输出的因素很多,比如药水的质量,相纸的不同等,都会改变声光电压与输出密度的对应关系.

因此在冲印设备的输出端集成一个彩色扫描密度计,用于扫描相纸上输出的测试图像各点的三彩色密度值(D_r, D_g, D_b),通过建立一个从(D_r, D_g, D_b)到(AO_r, AO_g, AO_b)的三维查找表,并由插值的方法得到目标三彩色密度所需的声光电压输入值.

2 色域映射

由于不同的颜色设备其表现颜色的结构、机理不同,因而颜色设备的颜色表现范围各有差异,即色域不同.它也是影响图像颜色真实再现的一个重要因素.

在确定设备颜色特性描述的同时,设备的最大表色范围也就确定了.色域有许多种描述方法,如 xy 色品图,CIELAB颜色空间等.我们用 xy 色品图表示了一般情况下,CRT显示器与相纸的表色范围,如图1所示.

图中弧形曲线为光谱轨迹,连接光谱轨迹两端所形成的马蹄形内包括了一切物理上能实现的颜色.

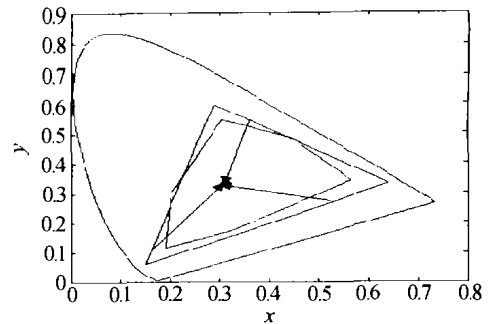


图1 CRT显示器与激光数码彩扩机的色域

Fig.1 Gamut of CRT monitor and laser digital photofinishing
三角形区域为CRT显示器的色域,多边形内为相纸上可以得到的颜色范围.

CRT显示器比相纸的色域要大,并且实际当中受到相纸、药水等因素的影响,冲印机的色域还会比理想的色域更小一点.也就是说,不是所有显示器上可以显示的颜色都可以经冲印后在相纸上还原.对于不能还原的点(图1中,冲印机色域外,显示器色域内的点),需要通过色域匹配(Gamut Mapping)算法,将其以最逼近的方式投影到冲印机色域内,以再现到相纸上,使颜色在视觉上尽可能减少失真.集成到激光数码冲印设备中的色域匹配算法,要求适应范围大,能够适用于各种情况.

色域匹配可以在不同的色度空间中进行,最常见的方法是基于 $CIE L^*u^*v^*$, $CIE L^*a^*b^*$ 匀色空间.因为颜色是一个和心理感知有关的量,匀色空间中的三维属性分别表示了颜色明度(lightness)、彩度(chroma)和色相(hue),在这个空间中颜色点的相对位置和在视觉上引起的色差是等效的.在匀色空间中的匹配算法分为明度映射,彩度映射,色相映射三个方面.由于色相是感知辨别颜色的最主要颜色属性,大部分算法都是在保持色相不变的基础上,明度和彩度先后进行压缩,如LLIN(Johnson, 1979), LNLIN(Stone and Wallance, 1991), LSLIN(Laihanen, 1987)和LCLIP(Sara, 1984)算法等^[4,7];或者明度和彩度同时进行压缩,如SLIN(Luo等, 1996), CUSP(Ito and Katoh, 1995)等^[4,7].

但是这些算法都需要将我们现有的在CIEXYZ颜色系统中描述的设备颜色特性转换到 $L^*a^*b^*$ 或者 $L^*u^*v^*$ 三维颜色空间中去.得到三维的色域边界,有着复杂,不易实现,速度慢等的缺点,为了提高匹配效率我们采用了其他简单易行的算法来实现.

在CIEXYZ颜色系统中,颜色的三刺激值(X, Y, Z)与 xy 色品图中色坐标(x, y)一一对应,每一个颜色(X, Y, Z)都对应于色品图中的一个点.在色品图这个二维的空间确定色域边界,进行色域匹

配,相比与三维颜色空间,更方便迅速. 在 (x, y) 色品图,中心为白场,越靠近色域边界色饱和度越高,通过保持颜色的原亮度(即, Y 值不变)而降低饱和度的方法将相纸色域外的点映射到相纸色域边界,或以一定的比例向相纸色域中映射,如图 1 所示. 经过实际运用,这样该算法在保证减小颜色失真的前提下,更为简单、高效.

3 激光数码冲印中实现颜色真实再现的模型

在确定了设备的颜色特性和色域映射算法的基础上,我们建立了激光数码冲印机颜色校正的理论模型,如图 2 所示.

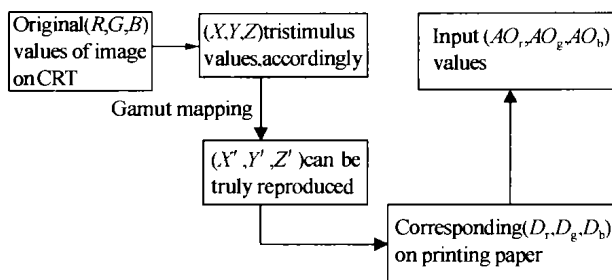


图 2 激光数码彩扩机的颜色再现过程图

Fig.2 Process of color reproduction in laser digital photofinishing

在这个模型中,分 4 步完成了由数码图片到相纸输出的真实再现:

1) 由显示器的颜色特性模型,确定由 RGB 值到颜色的三刺激值之间的转换关系. 对于每幅待冲印的数字图像,已知其各像素点的 (R, G, B) 值,经转换得相应各点的三刺激值 (X, Y, Z) ;

2) 色域匹配:用前面介绍的匹配方法,将图像中在激光数码冲印机色域外的点映射到该色域内,得色域匹配后逐点的三刺激值 (X', Y', Z') . 这时,各点 (X', Y', Z') 值都在激光数码冲印机的色域内,这些颜色都可以在冲印后真实还原,也就是说这个 (X', Y', Z') 值是我们最后要在相纸上得到的图像的三刺激值;

3) 颜色的三刺激值到颜色的三彩色密度值的转换^[6],得到相纸上的彩色图像所需密度值 (D_r, D_g, D_b) ;

4) 由原数码图片在相纸需要的各点三彩色密度,根据已经建立好的 $(A_{O_r}, A_{O_g}, A_{O_b})$ 和 (D_r, D_g, D_b) 之间的三维查找表,在表中由找到控制三色激

光器曝光强度的声光电压值 $(A_{O_r}, A_{O_g}, A_{O_b})$. 用 $(A_{O_r}, A_{O_g}, A_{O_b})$ 作为声光调制器的输入,就能在输出端相纸上得到所需的颜色.

其中声光电压 $(A_{O_r}, A_{O_g}, A_{O_b})$ 和三彩色密度 (D_r, D_g, D_b) 之间的对应,由于受很多因素的影响,经常会变化,所以需要每天校正一次.

4 结论

激光数码冲印设备的推出,为数码图片的输出方式引入了新的概念. 如何使激光数码冲印设备的输出达到“所见即所得”的效果,颜色校正是其中的一个关键技术. 文中提出的一种用于实现色域匹配的算法在实现匹配的同时更加快速易行,同时还通过扫描密度计,完成了曝光系统的输入输出对应,抑制了由于相纸,药水等因素引起的输出颜色偏差,提高了激光数码冲印机的自动化和通用性. 经理论分析,并在实际中应用,得到了一定效果.

参考文献

- 1 王琦. 数字照片输出方式概览. 现代声像档案, 2001, 3(1): 44 ~ 45
Wang Q. *Modern Audio-visual Archives*, 2001, 3(1): 44 ~ 45
- 2 葛世清. 中国数码彩扩机发展之路. 数码影像世界, 2002, 3: 4 ~ 5
Ge S Q. *Digital World*, 2002, 3: 4 ~ 5
- 3 Vallinkoski I. The Design and Implementation of a Color Management System. [M. S. Thesis], Laboratory of Media Technology, Helsinki University of Technology, Finland, 1998
- 4 Morović Ján. To Develop a Universal Gamut Mapping Algorithm. [Ph. D. Thesis], University of Derby, U K, 1998
- 5 Kang Byoung-Ho, Kim Hong-Gee. Colour Models for Characterising CRT Colour Monitors. 1999 IEEE International Conference: 709 ~ 713
- 6 周世生, 张文若, 张志刚. 颜色色度学度量体系与密度体系转换关系的研究. 印刷杂志, 1998, (2): 34 ~ 36
Zhou S S, Zhang W R, Zhang Z G. *Printing Field*, 1998, (2): 34 ~ 36
- 7 黄庆梅, 赵达尊. 彩色复制中的色域映射. 照明工程学报, 2002, 13(1): 19 ~ 26
Huang Q M, Zhao D Z. *China Illuminating Engineering Journal*, 2002, 13(1): 19 ~ 26

Theoretical and Experimental Studies of Color Correction in Laser Digital Photofinishing

Tan Li, Xiang Qianrong, Liu Yuling, Yu Feihong, Ye Zi

The State Key Laboratory of Modern Optical Instruments, Zhejiang University, Hangzhou 310027

Received date: 2003-06-26

Abstract A theoretical model used for color reproduction in laser digital photofinishing is built up. Through an integrated scanning densimeter, which used to scan density values of a test picture, the in and out transform model for laser digital photofinishing can be determined. Then, on the basis of gamut mapping, a theoretical model for color reproduction through density values was set up. The whole system completely realized color reproduction of laser digital photofinishing.

Keywords Laser digital photofinishing; Color correction; Device characterization; Gamut mapping; Density; Chroma



Tan Li was born on November 1, 1981, received B. S. degree in electronics from Beijing Normal University in 2001. Currently, she is a master candidate in the department of optical engineering, Zhejiang University. Her research area mainly focuses on color science and spectrum measurement.

15 W 光子晶体光纤激光器的研究

阮双琛 林浩佳 杜晨林 朱春艳 杨冰

(深圳大学深圳市激光工程重点实验室, 深圳 518060)

利用光子晶体光纤在原来输出功率 3.4 W 的基础上, 研制成功了激光输出 15 W 的光子晶体光纤激光器, 实验装置为典型的 F-P 腔结构, 分别采用二色镜和光纤端面作为高反射腔镜和激光输出腔镜. 一端二色镜紧贴光纤的入射端面, 它对 $1.05 \mu\text{m} \sim 1.1 \mu\text{m}$ 波段信号光的反射率大于 99%, 对 976 nm 泵浦光透射率为 93%; 另一端利用光纤端面 4% Fresnel 反射作为输出端反馈与二相色镜构成了线形谐振腔. 实验采用掺 Yb^{3+} 双包层光子晶体光纤, 长度为 20 m. 内包层为 $200 \mu\text{m}$, 外包层为 $380 \mu\text{m}$, Yb_2O_3 浓度为 1.5 mol%. 当泵浦功率为 60 W 时, 获得了 15 W $1.1 \mu\text{m}$ 的激光输出.

(广东省自然科学基金资助, 收稿日期: 2004-04-25)