

文章编号 1004-924X(2001)04-0368-04

计算机彩色图像再现系统中的颜色校正研究

张红勤¹, 周丰昆¹, 陈淑芳¹, 李华², 李凤森²

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022;

2. 中国科学院计算技术研究所智能信息处理开放实验室, 北京 100080)

摘要:随着网络、多媒体技术的发展, 计算机彩色图像再现系统中交互界面上颜色的高保真再现变得日益重要。本文结合敦煌壁画的计算机存储与管理的工作, 研究了从彩色扫描仪到计算机 CRT 显示器的颜色校正问题, 克服人为因素的影响, 提出了一种新的 CRT 显示器色度预测方法和一种多约束因子颜色校正还原模型。采用 CIE1976($L^* a^* b^*$) 匀色空间的色差函数 ΔE 进行校正效果评价。结果表明, 本文提出的颜色校正还原模型能对扫描、显示等环节中各种因素所造成的颜色失真实现客观、定量、一次性的总体校正, 可以广泛应用到计算机彩色图像再现系统中。

关键词: 阴极射线管; 色度预测; 颜色校正; 图像再现

中图分类号: O432.3 **文献标识码:** A

1 引言

我国有许多珍贵文物在千百年自然风化、自然灾害以及人类活动的影响下, 产生了严重的退化和损坏, 其保存数量日趋减少, 因此采取积极措施切实有效地保存和保护这些国宝是当务之急。

多年来研究表明, 利用当代摄影测量技术和计算机技术对古代文物进行图像数字化处理, 建立一套数字图像计算机管理系统, 对其进行有效的存储、处理、管理及图像再现是实现文物遗址科学、系统、高精度、永久保存的有效途径。而且, 随着数码技术、多媒体技术、通信网络技术的发展, 历史文物也可以搭上信息化快车, 人们可以建立网上虚拟博物馆, 更方便地进行文化、艺术交流。

尽管当今的技术已发展到相当完美的地步, 各种软硬件本身在处理颜色问题方面也不可避免地存在着局限性, 这些局限性限制着不同设备之间颜色信息的有效交流。为了使经过摄影、扫描等一系列数字化处理后保存到计算机中的文物图像更忠实于实际, 有必要对其进行颜色还原校正。

本文研究从彩色扫描仪到计算机 CRT 显示

器的颜色校正问题, 分别考虑它们的色度特性及它们之间的颜色转换关系, 统筹分析影响颜色信息的诸多因素, 提出了一种新的能校正更多种颜色的校正还原模型。

2 CRT 显示器色度预测模型

所谓建立 CRT 显示器色度预测模型, 就是设法寻找能较好描述 CRT 显示器的 RGB 值与 CIE XYZ 三刺激值之间关系的数学模型。我们现在使用的计算机数字图像处理工作站是将红绿蓝 RGB 量值各量化为 256 个灰度级, 因此可显示 $256 \times 256 \times 256$, 即约 16.8 兆种颜色。给予电子枪一定的 RGB 刺激值, 就有一颜色 XYZ 三刺激值与之相对应, 反之亦然。那么, 颜色显示系统即计算机工作站的高分辨率彩色监视器的 RGB 量值与颜色 XYZ 三刺激值之间可建立起一个对应关系。如何建立 RGB 和 XYZ 之间的精确的相互转换关系, 是实现颜色校正还原关键的一步。

典型的 CRT 显示器色度预测模型有 PLCC 法 (假定荧光粉色品恒定的分段线性插值法 Piecewise Linear Interpolation Assuming Constant Chromaticity Coordinates) 和 PLVC 法 (假定荧光粉色

收稿日期: 2001-03-13; 修订日期: 2001-05-10

基金项目: 中国科学院计算技术研究所智能信息处理开放实验室基金资助项目 (II P2001-1)

品变化的分段线性插值法 Piecewise Linear Interpolation Assuming Variable Chromaticity Coordinates)。在实际情况中,由于“荧光粉色品的恒定性”是没有保障的,三刺激值的可加性由于红绿蓝三通道之间的相互干扰也会带来误差,因此 PLCC 法的效果很不理想。PLVC 法考虑了荧光粉色品变化带来的不利影响,但它仍没有摆脱对叠加原理的依赖,所以在实际情况中还会产生较大误差。

这里,我们采用(1)式的矩阵模型:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R^{\gamma_r} \\ G^{\gamma_g} \\ B^{\gamma_b} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $\gamma_r, \gamma_g, \gamma_b$ 分别为 CRT 显示器红、绿、蓝荧光粉随输入 R, G, B 的非线性响应 γ 值。

利用测色仪器(1980A 彩色亮度计)测试 CRT 显示器上显示的某些跟所要再现的颜色比较接近的颜色,则可计算出(1)式中的 3×3 系数矩阵中的九个因子 $a_{ij}(i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3)$ 。然后计算出其逆变换,那么,只要给出欲显示颜色的 XYZ 三刺激值,便可计算出所需要的 RGB 值。由于 RGB 值和 XYZ 三刺激值之间对应关系的复杂性,通过(1)式计算出的 RGB 值实际上并不对应着所想要的 XYZ 三刺激值,而是有一定的差距,因此,这一步只是相当于“粗调”。

为了能够实现颜色的精确再现,本文还采用“边测量边调整”的方法,即在上一步“粗调”的基础

上,再采用(2)式的方法进行微调。

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta R \\ \Delta G \\ \Delta B \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 $\Delta X = X - X_0, \Delta Y = Y - Y_0, \Delta Z = Z - Z_0, \Delta R = R^{\gamma_r} - R_0^{\gamma_r}, \Delta G = G^{\gamma_g} - G_0^{\gamma_g}, \Delta B = B^{\gamma_b} - B_0^{\gamma_b}, X_0, Y_0, Z_0$ 和 R_0, G_0, B_0 为一组基准数据。

对上一步“粗调”的结果进行三次“微调”,可计算出(2)式中的 3×3 系数矩阵中的九个因子 $C_{ij}(i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3)$ 。计算出其逆变换,根据 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, 可计算出 $\Delta R, \Delta G, \Delta B$, 从而可求出真正所要的 RGB 值。

3 颜色矫正还原模型

根据(1)式,我们至少能矫正三种颜色,从原则上讲,包括在这三种颜色所形成的色域之内的所有颜色也都应该能够得到矫正。但是,由于系统的信号传输非线性、硬件设备本身的局限性及其他各种外在因素的影响,不同设备间颜色信息的传递是非常复杂的。即使三原色得到了精确矫正,其色域内的颜色也未必能够得到矫正。实际应用中,只精确矫正其中的三种颜色显然是不够的,如何才能实现将尽可能多的颜色得到矫正?

通过增加约束因子,本文提出了如下的颜色矫正还原模型:

$$\begin{bmatrix} R_{aim} \\ G_{aim} \\ B_{aim} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & \dots & a_{1(3n-1)} & a_{1(3n)} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & \dots & a_{2(3n-1)} & a_{2(3n)} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & \dots & a_{3(3n-1)} & a_{3(3n)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R_{original} + R' \\ G_{original} + G' \\ B_{original} + B' \\ R_{original}^{1/2} \\ G_{original}^{1/2} \\ B_{original}^{1/2} \\ \dots \\ \dots \\ R_{original}^{1/n} \\ G_{original}^{1/n} \\ B_{original}^{1/n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 $R_{original}$ 、 $G_{original}$ 、 $B_{original}$ 为原始值, R_{aim} 、 G_{aim} 、 B_{aim} 为再现某个颜色实际所需加给 R、G、B 三个电子枪的电压激励值, R' 、 G' 、 B' 为偏移量, n 为自然数。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & \cdots & a_{1(3n-1)} & a_{1(3n)} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & \cdots & a_{2(3n-1)} & a_{2(3n)} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & \cdots & a_{3(3n-1)} & a_{3(3n)} \end{bmatrix} \text{ 为 } 3 \times (3n) \text{ 的系数矩阵。}$$

该模型具有 $3 \times (3n + 1)$ 个约束因子, 从理论上讲, 确定系数和偏移量后能矫正 $(3n + 1)$ 种颜色。

4 实 验

为了避免主观评价中人为因素的影响, 本研究采用测试某些标准色的颜色还原效果的方法客

观评价颜色矫正的好坏。从孟塞尔颜色体系中选 7 片标准色卡(注意: 应尽量选落在扫描仪和 CRT 显示器的共同色域内的颜色), 用 1980A 彩色亮度计测其三刺激值并计算其色度坐标, 然后将其扫描到计算机中, 采用本文所提出的 CRT 显示器色度预测方法(1)、(2)式和本文所建立的颜色矫正还原模型(3)式对其进行颜色矫正, 结果如下:

Table 1 Comparison of chromatic coordinates before and after corrections of the standard colour cards

Standard colour cards	standard values		before correction		after correction	
	X_s	Y_s	X_b	Y_b	X_a	Y_a
1#	0.4381	0.3280	0.3970	0.2607	0.4512	0.3198
2#	0.5584	0.3373	0.4985	0.3064	0.5604	0.3201
3#	0.3367	0.5031	0.3462	0.4992	0.3565	0.5224
4#	0.3344	0.5501	0.3009	0.5786	0.3487	0.5392
5#	0.2312	0.2172	0.2459	0.1989	0.2198	0.2305
6#	0.2170	0.2527	0.2693	0.2235	0.2076	0.2613
7#	0.2677	0.3983	0.2465	0.4084	0.2745	0.3887

Table 2 Chromatic comparison before and after corrections

Standard colour cards	Chromatic aberration before correction	Chromatic aberration after correction
	$\Delta E_b(L^* a^* b^*)$	$\Delta E_a(L^* a^* b^*)$
1#	33.16	7.12
2#	20.97	5.73
3#	46.87	4.79
4#	35.60	3.94
5#	63.21	4.04
6#	28.13	3.56
7#	37.62	6.41
average chromatic aberration $\overline{\Delta E}$	37.94	5.08

来进行客观评价。为使色差大小与视觉感知差异评价相一致, 我们这里选用具有较好均匀性的 CIE1976($L^* a^* b^*$)颜色空间。

从矫正后标准色卡的色差评价函数值 ΔE 可以看出, 2#, 3#, 4#, 5#, 6# 色差均在 6.0 以下, 1# 和 7# 的色差比较大, 分别为 7.12 和 6.41, 但也低于电脑显示的 10.00 允差要求。

5 结 论

经颜色矫正后显示的色卡的色度坐标与标准值很接近, 客观差别已令视觉难以分辨。由于所选色卡的颜色所形成的色域大于壁画上的颜色所形成的色域, 因此, 只要色卡颜色得到了矫正, 壁画颜色也就相应得到了矫正。

采用本文的 CRT 显示器色度预测方法和多约束因子颜色矫正还原模型, 可以克服定性、主观

由于本论文所谓的颜色还原是指色度色再, 所以, 对于颜色矫正还原的结果, 采用色差 ΔE

调整方法中人为因素的影响,对扫描、显示等环节中各种因素所造成的颜色失真实现定量、客观、一次性总体矫正。并且,该模型通过增加约束因子,可以更精确地矫正更多的颜色。约束因子的数目可以根据实际应用中硬件系统引起的红绿蓝信号

传输的非线性程度和对颜色整体还原精度的要求而灵活决定,一般来讲,信号传输的线性越差,颜色还原精度要求越高,需采用的转换方法和数学变换越复杂,约束因子的数目也就越多。

参考文献:

- [1] 李震.敦煌壁画计算机存储与管理信息系统中的图像处理[J].测会学报,1998,27(1).
- [2] 周丰昆,陈淑芳等.敦煌壁画计算机存储与管理中的颜色还原矫正[J].敦煌研究,1996(3):168-171.
- [3] Liao Ningfang. A comparative study of a CRT colorimetric prediction model by neural network and the models by conventional method[J]. Color Res. Appl, 1999,24(1):45-51.
- [4] Jimenez J R,Reche J F,Diaz J A, et al. Optimization of color reproduction on CRT - color monitors[J]. Color Res. Appl, 1999, 24(3):207-213.
- [5] Berns RS. Methods for characterizing CRT displays[J]. Displays,1996,16:173-182.
- [6] Tung - Chang Hseue. Cross - media performance evaluation of color models for unequal luminance levels and dim surround[J]. Color Res. Appl, 1998,23(3):169-177.

Color correction in computer color image reproduction system

ZHANG Hong-qin¹, ZHOU Feng-kun¹, CHEN Shu-fang¹, LI Hua², LI Feng-sen²

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China;

2. The Key Laboratory of Intelligent Information Processing,

Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The paper discusses color correction issues in color scanners and CRT based on the Dunhuang Mural's computer storage and management work. In order to avoid man - made influence in quantitative and subjective adjustment methods, it presents an effective CRT colorimetric prediction method and a new color correction model with multi - constraint factors. The correction effects are evaluated by the color difference formula ΔE in the CIE1976($L^* a^* b^*$) uniform color space, and the results indicate that the combination of the prediction method and the correction model can achieve an objective, quantitative and whole correction for the color distortions caused by all kinds of factors. The model can be widely used in computer color image restoration system.

Key words: CRT; colorimetric prediction; color correction; image restoration

作者简介:张红勤 (1976-),女,河南省淮阳县人,1998年毕业于山东大学光电子信息工程系光电子技术专业,获学士学位,现在长春光学精密机械与物理研究所应用光学国家重点实验室攻读硕士学位,研究方向为颜色光学及应用。