

# 基于人工神经网络的彩色校正方法研究

赵忠旭 沈兰荪 卫保国 王爱民 王永刚

(北京工业大学信号与信息处理研究室, 北京 100022)

**摘要** 中医舌象的物理特性主要反映在舌体的颜色上, 而如何进行颜色的测量以及如何不同设备间保持色彩的一致性和重复性, 即彩色校正是研制中医舌象分析仪必须解决的难题. 该文简要介绍了中医舌象分析仪的系统结构, 同时讨论了照明光源的选择和设计, 最后提出了采用神经网络进行彩色校正的方法.

**关键词** 舌象分析仪 彩色校正 光源 彩色空间 神经网络

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)09-0785-05

## Research on Color Calibration Method Based on Artificial Neural Network

ZHAO Zhong-xu, SHEN Lan-sun, WEI Bao-guo, WANG Ai-min, WANG Yong-gang  
(Laboratory of Signal and Information Processing, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

**Abstract** Physical characteristic of Chinese-medicine tongue is mainly reflected by colors, in the research of tongue analysis instrument, the most important and hard technique is how the colors to be measured and how to keep the accordance and repeated of colors between the different devices. In this paper, the structure of tongue analysis instrument is briefly described. Choice and design of illumination is given, and the color calibration method to camera and CRT using artificial neural network is presented.

**Keywords** Tongue analysis instrument, Color calibration, Illumination, Color space, Neural network

## 0 引言

医学图象是当代医学研究的重要手段和临床诊断的主要依据, 目前已有获取医学图象的多种仪器, 其中舌象分析仪是以中医临床辩证论治学说为指导, 运用计算机视觉技术、色度学和光学技术, 结合中医专家的临床经验, 而开发的一种无创、定量和客观的中医诊断分析工具<sup>[1-3]</sup>, 这是发展中医舌诊的创新之路. 舌象的物理特性主要反映在舌的颜色上, 舌象分析的前提是彩色图象的重现. 由于摄像机、显示器以及照明条件的变化, 在真实光源条件下获得稳定的彩色特性相当困难, 因此对采集到的图象必须进行彩色校正. 由于彩色校正涉及到图象采集、照明光源的设计、色彩空间的选取、建立系统描述颜色特性的数学模型以及受试者的伸舌方式等问题, 因

此色彩的校正是舌诊研究中的一项关键技术.

## 1 系统的结构

舌象分析仪由图象采集设备、标准光源、计算机、高分辨率的监视器和机架等构成, 系统结构如图1所示. 该仪器选用分辨率为  $1536 \times 1024$ , 彩色深度为 24bit 的 Kodak DC260 数码相机. 该仪器还包括按人体工程学要求设计的前额托架, 它可全方位控制相机及其它设备.

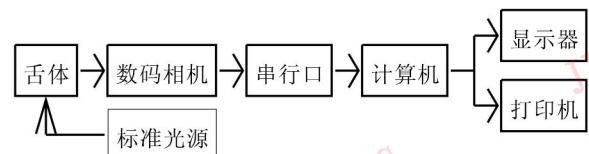


图1 舌象分析仪的结构图

## 2 彩色校正

彩色校正的目的就是使摄像机拍摄到的物体影像在计算机上显示时,其颜色保持色彩的一致性和重复性.本系统主要对摄像机和彩色显示器进行校正,摄像机拍摄被测物体后的输出  $R、G、B$  值,由于该数据用于舌象的分析处理,关系到舌象分析结果的准确性,因此必须保证其真实,不发生畸变.但由于不同生产厂商的显示器所使用的荧光物质不同,再加上老化现象,因此显示器也是系统中影响色彩真实再现的设备.因而就有必要进行校正.

### 2.1 光源的选择和设计

通常中医是在自然日光下辨色,因此选用的光源特性应尽量与自然日光一致.因为照明光源不同,物体的颜色就有差异.一般具有连续光谱分布的光源有较好的显色性.目前国际照明委员会(CIE)推荐的标准光源有以下几种<sup>[4]</sup>:标准光源 A、标准光源 B、标准光源 C、标准光源 D. CIE 建议,为促进色度学的标准化,应尽量用  $D_{65}$  光源代表日光,  $D_{55}$  和  $D_{75}$  可作为  $D_{65}$  的补充光源.另外,照明光源的几何条件也是影响成象质量的重要环节,通常采用  $45^\circ/0^\circ$  (或  $0^\circ/45^\circ$ ) 可有效解决镜面反射问题.

综上所述,我们按照  $45^\circ/0^\circ$  的几何条件安排光路,选用全光谱的 L18/72-965 BIOLUX 光源,显色指数  $R_a=96$ ,色温为 6500K.

### 2.2 彩色空间选择

鉴于彩色校正中要涉及到不同彩色空间的数据转换对应问题,同时视觉色差的度量也需要一个均匀的彩色空间,因此彩色校正必须选择一个合适的彩色空间,所谓彩色空间就是以数值方式描述色彩的模型,通常有基于 RGB 的彩色空间、基于 CMYK 的彩色空间和基于 CIE 的彩色空间等<sup>[1,2]</sup>.其中基于 RGB 的彩色空间是与设备有关的加色空间,主要用于彩色监视器、扫描仪等设备;而基于 CMYK 的彩色空间则是与设备有关的减色空间,主要用于彩色印刷、摄影等领域;基于 CIE 的彩色空间主要有 CIE XYZ、CIE  $L^* a^* b^*$ ,其中,CIE XYZ 是非均匀的彩色空间,很少直接使用,通常它只在将光谱数据转换为其他三刺激值彩色空间时作为中间环节;而 CIE  $L^* a^* b^*$  是均匀、客观、与设备无关的彩色空间.本文的研究应用了 CIE RGB、CIE XYZ、CIE  $L^* a^* b^*$  彩色空间.

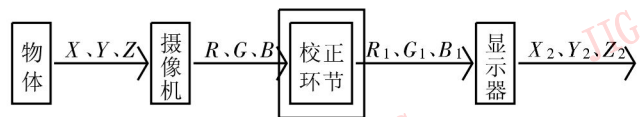
### 2.3 校正原理和方法

根据色度学理论,实现色彩重现的方法之一是使计算机显示的物体颜色的三刺激值与对应的实际物体颜色的三刺激值相同,它可通过建立系统的输入/输出转换函数,即建立描述颜色特性的系统模型来实现.通常采用的方法有矩阵法<sup>[4-6]</sup>、查找表法<sup>[7]</sup>等.但由于查找表法需大量的标准色谱、色块等数据,且考虑到 CRT 和相机的非线性,也要求查找表中数据分布合理,因此较复杂;矩阵法虽简便易实现,但由于维数太小和操作期间光源等条件的变化,以及由于摄像机和显示器的非线性等,故这种方法也不太理想.鉴于传统的校正方法是针对单一的输入或输出设备,而非整个系统,且摄像机和 CRT 的输入输出的关系非常复杂,又是三维空间中的点到点的映射,属非线性关系.基于这个原因,我们采用神经网络模型来对摄像机、显示器的输入输出三刺激值特征化,这就使它与传统的矩阵法相比具有较高的精度.

由图 2(a) 可看出,摄像机拍摄物体后输出的  $R、G、B$  色度值是直接作为 CRT 的数字驱动,如果不进行校正,则在 CRT 上显示的色彩是失真的.如果将摄像机输出的  $R、G、B$  值转换为  $R_1、G_1、B_1$  后,作为 CRT 的数字驱动,使得 CRT 显示的颜色三刺激值  $X_2、Y_2、Z_2$  与物体的三刺激值  $X、Y、Z$  相同,就能达到校正之目的(如图 2(b) 所示).因此,建立  $R、G、B$  到  $R_1、G_1、B_1$  的转换函数是校正的关键.



(a) 校正前的示意图



(b) 校正示意图

图 2 彩色校正原理图

## 3 神经网络模型的建立

神经网络是采用物理可实现的系统来描述和模拟人脑神经细胞的结构和功能,按结构分为前馈型人工神经网络、反馈型人工神经网络、自组织竞争人工神经网络和随机神经网络等<sup>[8,9]</sup>.尽管神经网络的种类很多,但关键是网络结构和学习算法的设计,如应用最广的由非线性变换单元组成的 BP 网络,就

是把一组样本的输入输出问题变成一个非线性优化问题, 即如果把经 BP 训练的多层感知器看成是一个从输入空间到输出空间的映射, 则这个映射是高度非线性的. 由于它是建立在简单非线性函数复合的基础上, 因而可以表达客观世界中的复杂现象. 其结构形式大致分为输入层、隐层和输出层. 其三层网络的结构如图 3 所示, 设输入层、隐层和输出层的单元数分别为  $N$ 、 $L$  和  $M$ ,  $x_i$  是网络的输入单元,  $h_j$  是隐单元,  $y_k$  是网络的实际输出; 且从输入层到隐层的连接权为  $w_{1j}$ , 隐层到输出层的连接权为  $w_{2kj}$ ;  $b_{1j}$  和  $b_{2k}$  分别是隐层和输出层的阈值, 而 BP 网络采用的传递函数均是线性可微的单调递增函数. 隐层传递函数  $g()$  通常取  $\log$ -sigmoid 型或  $\tan$ -sigmoid 型函数, 输出层传递函数  $f()$  可以是 S 型函数, 也可以是线性函数.

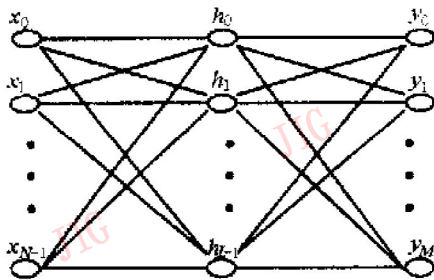


图 3 神经网络的结构

隐层各单元的输出为

$$h_j = g \left[ \sum_{i=0}^{N-1} w_{1ji} x_i - b_{1j} \right] \quad (1)$$

输出层各单元的值为

$$y_k = f \left[ \sum_{j=0}^{L-1} w_{2kj} h_j - b_{2k} \right] \quad (2)$$

在已知训练样本输入和输出的条件下, 通过训练算法, 即可在误差范围内求出权系数, 从而建立网络模型. 由此可见, 在获取一定量实验数据的情况下, 利用神经网络建模, 便可在一定范围内得出连续可靠的输入输出的定量关系.

由图 2 看出, 实现条件等色的三刺激值匹配法的关键就是要确定校正环节的输入  $R$ 、 $G$ 、 $B$  和输出  $R_1$ 、 $G_1$ 、 $B_1$  的关系, 也即首先必须确定计算机 CRT 的输入输出关系, 据此才可求出彩色重现时, CRT 所需要的红绿蓝三枪的数字驱动值  $R_1$ 、 $G_1$ 、 $B_1$ . 然后再求出相机的输出  $R$ 、 $G$ 、 $B$  值和  $R_1$ 、 $G_1$ 、 $B_1$  的定量关系.

### 3.1 训练数据的获取

用非线性单元组成的前馈网络进行输入输出的非线性映射, 需要大量的输入输出样本. 为了能精确

得到相机、CRT 的输入输出关系, 必须选择含有一定数量色块的色标, 如果选得过少, 不能反映色彩空间的颜色特征, 达不到校正的目的. 由于色度空间的色域很大, 理想情况下应有约 16.6M 种不同的色块, 才能完成 RGB 和 XYZ 彩色空间的转换, 但要得到这样多的色块数据非常困难, 因此, 如何选择能解决实际问题的训练数据是非常重要的.

舌象分析仪的测量对象是人的舌体, 因此可主要在人的肤色、舌色和苔色的色域内选择, 并制作色标, 这样就有效地克服了“维数灾难”(curse of dimensionality) 问题. 色块数据的获取就是首先用彩色打印机打印含有 600 个色块的色标, 再用 X-Rite's Digital Swatchbook 光谱计 DTP22Q 进行测量, 以得到每个色块的三刺激值  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ ; 然后将舌象分析仪的采集环境中拍摄的色块送至计算机 CRT 显示, 但对于光源, 需要一些时间预热, 使光源尽可能达到稳定的温度和色调一致的光源输出, 并用 X-Rite's Monitor Optimizer 色度计 DTP92 测出 CRT 上显示的色块的三刺激值  $X_1$ 、 $Y_1$ 、 $Z_1$ , 而相机的输出  $R$ 、 $G$ 、 $B$  则通过读取图象文件得到. 所选的色块数据在色度空间中的分布如图 4 所示.

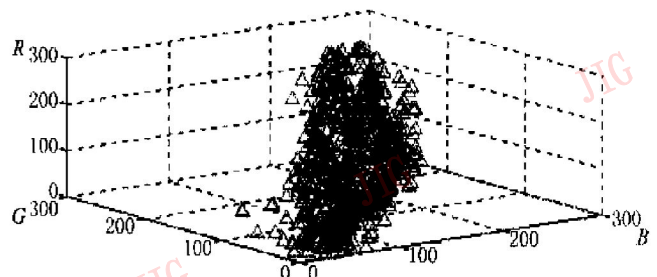


图 4 训练数据的分布

### 3.2 CRT 网络模型的设计

由于一个三层的 BP 网络可完成任意的  $n$  维到  $m$  维的映射<sup>[6]</sup>, 故可采用三层的 BP 网络来进行色彩校正. 其网络结构如图 5 所示, 其输入层由 CRT 上测出的  $X_1$ 、 $Y_1$ 、 $Z_1$  构成, 输出层由 CRT 的输入  $R$ 、 $G$ 、 $B$  构成, 但其隐层单元数的选择是个十分复杂的

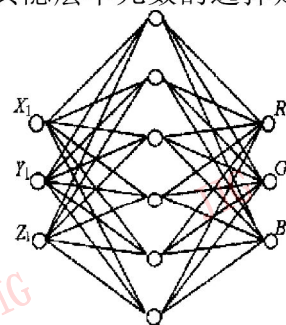


图 5 CRT 的网络结构

问题,因为它与所逼近函数的精度和函数本身的波动情况有关,而本文根据试验求出的理想的单元数为6.并且其隐层的传递函数选 tan-sigmoid 型函数,输出层的传递函数选线性函数.由于纯粹的BP网络方法收敛过程慢,易陷入局部极小或“假饱和”,故采用动量法和学习率进行了自适应调整,从而有效地抑制了网络陷入局部极小或“假饱和”现象.

### 3.3 校正环节网络模型的设计

将色块的三刺激值  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  代入已建立的CRT网络模型,求出彩色重现时所需的数字驱动值  $R_1$ 、 $G_1$ 、 $B_1$ ,则其网络结构如图6所示,其输入层由相机输出  $R$ 、 $G$ 、 $B$  构成,输出层由求出的  $R_1$ 、 $G_1$ 、 $B_1$  构成.

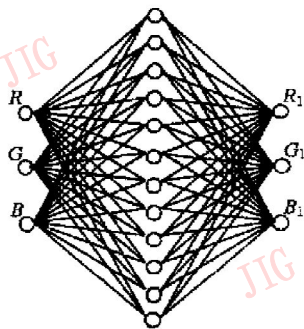


图6 校正环节的网络结构

并且其隐层数取为12,隐层的传递函数选 tan-sigmoid 型函数,输出层的传递函数选线性函数.

### 3.4 舌象分析仪色彩校正

舌象分析仪在采集舌图象时,可将相机的输出代入以上建立的校正环节模型,然后将它的输出作为计算机CRT的数字驱动值,并使得CRT显示的舌象颜色的三刺激值  $X_2$ 、 $Y_2$ 、 $Z_2$  与舌象颜色的三刺激值  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  相同,以达到校正的目的.

## 4 实验结果

为了评估和测试本文提出的彩色校正方法的性能,与训练数据的获取一样,首先制作供测试用的色块,然后使用 X-Rite's Digital Swatchbook 光谱计 DTP22Q 进行测量,得到测试色块的三刺激值  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ ,再用 X-Rite's Monitor Optimizer 色度计 DTP92 测出校正前后CRT上显示的色块三刺激值  $X_1$ 、 $Y_1$ 、 $Z_1$  和  $X_2$ 、 $Y_2$ 、 $Z_2$ .其测试色块的色度数据和校正前后显示器上显示的色度数据,如图7(a)、(b)、(c)所示.为使色差大小与视觉感知评价一致,色差的评价采用CIE  $L^*a^*b^*$  色差公式.  $\Delta E_1$  和

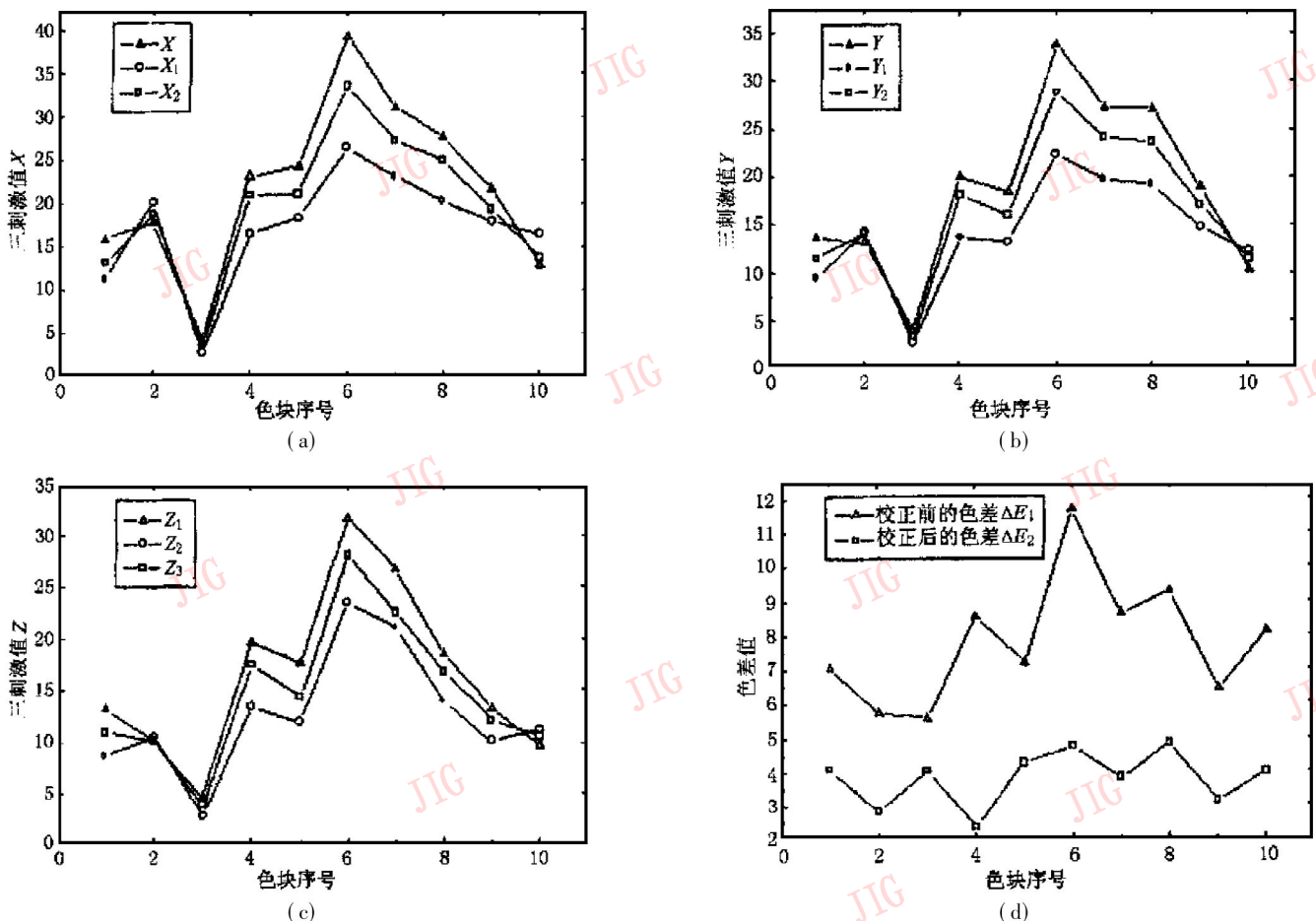


图7 校正前后三刺激值、色差对比曲线

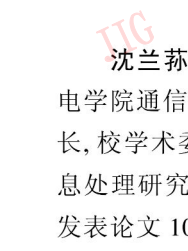
$\Delta E_2$  分别为校正前后的色差. 从图 7 看出, 校正前测试色块的颜色失真较大, 校正后  $\Delta E_2 < 5NBS$ , 可认为与视觉等效. 对舌象分析仪中由数码相机、显示器等环节引起的彩色失真用本文方法实现了一次性校正, 取得了满意的效果. 结果表明, 在标准的光源和确定的 CRT 及相机条件下, 可以采用神经网络方法实现三刺激值匹配的彩色校正.

### 参考文献

- 1 赵忠旭, 沈兰荪, 王爱民. 舌象分析仪中彩色校正的研究. 电子测量与仪器学报, 1999, 13(4): 1~ 5.
- 2 Zhao Zhongxu, Wang Aimin, Shen Lansun *et al.* An automatic tongue analyzer of chinese medicine based on color image processing. In: The Fourth International Conference on Electronic Measurement and Instruments . ICEMI'99/HARBIN CHINA, 1999: 830~ 834.
- 3 赵忠旭, 王爱民, 沈兰荪. 基于数学形态学和 HIS 模型的彩色舌图象分割. 北京工业大学学报, 1999, 25(2): 67~ 71.
- 4 汤顺青. 色度学. 北京: 北京理工大学出版社, 1990.
- 5 Elzbieta Marszalec *et al.* Some aspects of RGB vision and its application in industry. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 1996, 10(1): 55~ 72.
- 6 Jackwski M *et al.* Correcting the geometry and color of digital images. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(10): 1152~ 1158.
- 7 Hung Po chich. Colormetric calibration in electronic imaging devices using look up table model and interpolation. Journal of Electronic Imaging, 1993, 25(2): 53~ 61.
- 8 张立明. 人工神经网络的模型及其应用. 上海: 复旦大学出版社, 1993.
- 9 徐秉铮, 张百灵, 韦岗. 神经网络理论与应用. 广州: 华南理工大学出版社, 1994.



**赵忠旭** 1987年毕业于同济大学电气工程系, 北京工业大学博士生, 高工. 主要研究方向为智能仪器和信号处理、彩色校正理论与应用等.



**沈兰荪** 教授, 博士生导师, 1961年毕业于北京邮电学院通信工程系, 曾任中国科技大学高技术学院副院长, 校学术委员会副主任. 现为北京工业大学信号与信息处理研究室主任. 主要研究方向为智能化信息处理. 发表论文 100 余篇, 出版专著 11 部.



**卫保国** 1993年毕业于同济大学, 获学士学位. 1999年毕业于西安交通大学, 获计算机软件硕士学位, 现在北京工业大学电子工程学系攻读博士学位, 主要研究方向为图象处理和多媒体通信.



**王爱民** 1993年毕业于北京理工大学, 获硕士学位. 现为北京工业大学信号与信息处理研究室博士生. 主要研究方向为彩色图象处理、医学图象分析、模式识别等.



**王永刚** 1998年毕业于北京工业大学电子工程学系, 获学士学位, 现在北京工业大学电子工程学系攻读硕士学位. 主要研究方向为智能化信息处理.