

LCD 显示器不同色温下相同颜色感知图像增强方法

麻祥才, 王晓红

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 解决 LCD 显示器不同色温对人眼颜色感知有较大影响的问题。**方法** 利用 BP 神经网络和色适应变换, 提出了一种基于图像颜色相同感知的 LCD 显示器不同色温下的图像增强方法。**结果** 客观验证 100 个颜色的平均色差为 1.0441、最小色差为 0.3034、最大色差为 1.9757, 符合视觉一致性的要求, 利用该方法增强后图像主观评价的 Z 得分为 0.61844。**结论** 该方法能很好地解决图像在 LCD 显示器不同色温下显示效果的问题, 达到了图像增强的目的。

关键词: LCD 显示器; 色温; 颜色感知; BP 神经网络; 色适应; 图像增强

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)11-0171-05

Image Enhancement Method of Perception of the Same Color Based on Different Color Temperature of LCD Monitor

MA Xiang-cai, WANG Xiao-hong

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: This work aimed to solve the problem that different color temperatures of LCD monitor have a relatively great impact on the human eye color perception. A image enhancement method of perception of the same color under different color temperatures of LCD Monitor was proposed using advantages of the BP neural network nonlinear conversion and color adaptive transformation. The average color difference of the 100 colors was 1.0441, the minimum color difference was 0.3034, and the maximum color difference was 1.9757, which was consistent with the requirements of visual consistency. The image subjective Z score was 0.61844 after image enhancement using this method. This method could well solve the problem of image display on the LCD monitor under different color temperatures, to achieve the purpose of image enhancement.

KEY WORDS: LCD monitor; color temperature; color perception; BP neural network; chromatic adaptation; image enhancement

近年来, LCD 显示器应用越来越广泛, 而显示器本身的色温会直接影响显示器图像颜色的感知效果。工业上常把 6500 K 作为实际生活中显示器常用的标准色温。欧美人喜欢显示器低色温下观察图像, 而亚洲人喜欢较高色温下观察图像。目前, 国内 LCD 显示器出厂时色温都比较高,

虽然显示图像比较明亮, 但人眼感知敏感的肤色等已经失真, 长时间观察更容易造成视觉疲劳, 因此, 在观察欧美国家的图像时需要把显示器色温调低^[1-4], 直接将显示器色温调节到标准色温会影响显示器图像颜色的显示质量。另外, 有些显示器无法精确调节到工业上定义的标准色温, 直接影

收稿日期: 2015-11-25

作者简介: 麻祥才 (1991—), 男, 山东潍坊人, 上海理工大学硕士生, 主攻色彩管理与图像处理。

通讯作者: 王晓红 (1971—), 女, 陕西人, 上海理工大学教授、硕导, 主要研究方向为数字图像处理、印刷质量再现、数字水印、色彩管理与再现。

响图像颜色显示效果。

为了解决图像在 LCD 显示器不同色温下显示效果不一致的问题,文中利用 BP 神经网络非线性转换和 von Kries 色适应模型变换的优势,提出了一种基于图像颜色相同感知的 LCD 显示器不同色温下的图像增强方法。首先利用 BP 神经网络实现颜色在不同色温下色度值的对应转换,然后利用色适应变换模型得到对应色原始刺激值,实现颜色在 LCD 显示器不同色温下显示效果一致的图像增强。

1 LCD 显示器不同色温对颜色显示的影响

1.1 色块选取

根据 Field 和 CIE 的推荐,在选择 LCD 显示器色块的过程中应遵循如下几条原则:色块的色相包括 R, G, B 等基本色相;色块的亮度范围尽量大;色块的对比度范围尽量大;色块的饱和度范围尽量大^[5]。文中选择孟塞尔颜色图册中的色块。

1.2 实验仪器及测量环境

采用 Eizo ColorEdge CG246W 显示器,显示器色温设置为 4500, 5500, 6500, 7500, 9500 K, 数据测量仪器为 CS-2000。

1.3 数据处理分析

1.3.1 色温对 LCD 显示器颜色显示亮度的影响

将显示器的色温调节到上述 5 种色温,测量孟塞尔颜色图册中 $L=3, 5, 7, 9, H=5, C=2$ 同一色相环的 5 个主色调颜色的亮度 L , 测量数据结果见表 1。

表 1 5 种 LCD 显示器色温下颜色亮度 L 的测量值
Tab.1 The measured values of the color brightness L under five LCD color temperatures

色温/K	红色			
	$V=3$	$V=5$	$V=7$	$V=9$
4500	31.10	52.14	73.06	89.50
5500	31.14	52.52	73.05	90.16
6500	30.77	52.22	72.37	89.81
7500	30.67	52.20	72.06	89.79
9500	30.46	51.66	71.42	88.95

从表 1 中可以看出,不同亮度等级的红颜色块亮度值 L 基本不变,其他颜色也符合这个规律。这表示随着 LCD 显示器色温的变化,颜色显示的亮度值 L 不受影响。

1.3.2 色温对 LCD 显示器颜色显示饱和度的影响

将显示器的色温调节到上述 5 种色温,测量孟塞尔颜色图册中 $L=5, H=5, C=6$ 同一色相环的 5 个主色调颜色的 a^*b^* 值,进而用式(1)^[6]计算其饱和度,计算结果见表 2。

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

表 2 5 种 LCD 显示器色温下颜色饱和度的计算值
Tab.2 The calculated values of color saturation under five color temperatures

色温/K	红	绿	蓝	黄	紫
4500	32.98	33.87	19.02	45.84	19.95
5500	25.55	32.19	23.53	42.41	24.84
6500	21.09	31.28	28.22	40.41	30.74
7500	19.14	30.49	32.32	38.36	36.10
9500	18.35	29.98	35.57	37.34	40.22

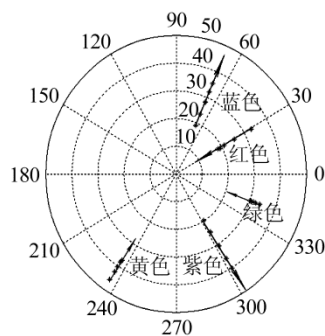


图 1 5 种色温下测试颜色的饱和度

Fig.1 Test of color saturation under five color temperatures

图 1 曲线由同一个颜色不同色温下饱和度数据连接而成。由图 1 可见,随着 LCD 显示器色温的变化时,被测颜色的饱和度受到了较大影响。

1.3.3 色温对 LCD 显示器颜色显示色相的影响

将显示器的色温调节到上述 5 种色温,测量孟塞尔颜色图册中 $L=5, H=5, C=6$ 同一色相环的 5 个主色调颜色的 $L^*a^*b^*$, 将 CIE Lab 三维空间中的颜色点向 a^*b^* 二维平面投影,见图 2,颜色显示的色相角见表 3。从图 2 可以看出,随着显示器色温的变化,颜色显示的色相变化较大。

2 LCD 显示器不同色温下相同颜色感知的图像增强方法

2.1 基于不同色温颜色色度值 BP 神经网络的建立

同一个颜色在 LCD 显示器不同色温下的色度

值满足一种非线性转换关系。在非线性转换方面，多项式拟合可以用拟合出的表达式来逼近离散点的数据^[7]，能够充分地体现出离散点之间所固有的规律并且拟合度比较高，但是只适合单一指标的多组数据的拟合，不适用于多指标多组数据的拟合，而 BP 神经网络具有很强的非线性映射优势。以显示器色温为 4500 K 和 9500 K 转换到标准色温颜色感知效果为例，采用 BP 神经网络实现同一颜色在 LCD 显示器不同色温下到标准色温颜色色度值的非线性转换。

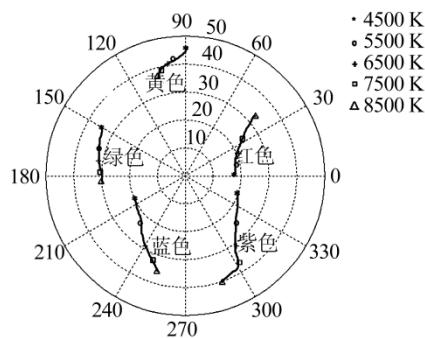


图 2 5 种 LCD 显示器色温下颜色在 $a*b*$ 平面中的投影
Fig.2 The projection of color in the $a*b*$ plane under five LCD color temperatures

表 3 5 种 LCD 显示器色温下颜色的计算色相角
Tab.3 The hue angle of color under five LCD color temperatures (°)

色温/K	红	黄	绿	蓝	紫
4500	41.06	89.06	149.44	203.57	342.93
5500	31.99	95.07	161.08	227.70	317.82
6500	20.79	99.16	170.02	240.33	307.65
7500	8.86	102.29	177.29	248.76	302.88
9500	1.96	104.48	182.85	253.81	290.47

BP 神经网络是一种前馈型网络，网络一般包括输入层、隐含层、输出层 3 部分，见图 3。在建立神经网络模型时需要考虑的参数包括：训练样本的选取、隐含层层数和节点数、训练函数的选取^[8-9]。

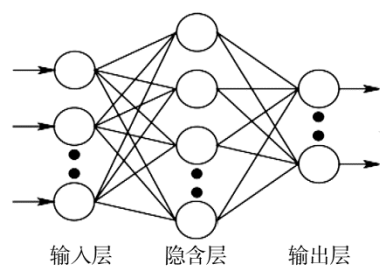


图 3 BP 神经网络的结构
Fig.3 The structure of BP neural network

2.1.1 训练样本选取

训练样本采用孟塞尔颜色图册^[10]中的色卡，包括不同亮度、饱和度和色相的 393 个色块作为训练样本，任意 100 个色块作为测试样本。

2.1.2 隐含层层数和节点

在构建 BP 神经网络时，对于隐含层的层数没有明确的公式。一般来说，只包含一个隐含层的 3 层神经网络模型就可以实现任意非线性函数的逼近^[11-12]，因此，在构建神经网络模型时，首先考虑增加节点数，当增加节点数对数据拟合没有太大的改善时，则考虑适当增加隐含层的层数。采用式(2)来确定隐含层每层的节点数。

$$n = \sqrt{n_i + n_o} + a \tag{2}$$

其中： n 代表中间隐含层的节点个数； n_i 代表输入层的节点个数； n_o 代表输出层的节点个数； a 代表自然常数，区间为[1,10]。

2.1.3 训练函数的选取

对 BP 神经网络中常用的训练函数 trainlm, trainscg, traingd, trainrp 分别进行训练，输入层为 4500 K 和 9500 K 的颜色三刺激值，输出层为 6500 K 下的颜色三刺激值，利用目前常用的 DE2000^[13] 色差公式进行色差计算评价，进而得到训练函数的优劣。不同训练函数的训练结果见表 4。

表 4 不同训练函数的训练结果
Tab.4 The training results of different training functions

训练函数	最大色差	最小色差	平均色差	训练时间/s
trainlm	1.7320	0.0685	0.5021	5.6681
trainscg	10.0924	0.2032	1.4691	8.0939
traingd	15.2332	3.3507	8.5306	5.8384
trainrp	14.0474	0.3739	1.8138	6.5675

从表 4 的综合数据分析可知，Trainlm 训练效果更好一些，因此选用 Trainlm 函数作为构建 BP 神经网络模型时的训练函数。

2.2 基于 von Kries 色适应变换的图像增强

色适应是人的视觉系统在外界条件发生变化时，自动调节视网膜感红、感绿、感蓝 3 种锥体细胞的响应平衡，以尽量保持对一定物理目标上的颜色外貌感知不变的现象。色适应能够很好地解决不同观察条件和媒介颜色一致性的问题。在众多色适应变换模型中，von Kries 色适应^[14]变换是其基础，显示器不同色温与标准色温类似两种纸张媒介，因此利用 von Kries 色适应模型将标准色温下的颜色

变换得到色温为 4500, 9500 K 对应色本身的刺激值, 这样就可以实现在 4500, 9500 K 的显示效果与标准色温下的显示效果的一致。

3 主客观实验及分析

3.1 客观实验

任意选择 100 个颜色作为验证样本, 利用 DE2000 计算颜色在 LCD 显示器色温为 4500, 9500

K 到标准色温的色差, 其中表 5 为部分色块的 Lab 值, 色差分布计算结果见图 4。

从图 4 可以看出, 测试样本的色差基本在 2 范围内, 满足人眼在观察颜色时色差控制为 3.5 的要求^[15]。同时, 该方法转换的最大色差为 1.9757, 最小色差为 0.3034, 平均色差为 1.0441。其中, 色差小于 1 的颜色占 74%, 说明此方法可以实现 LCD 显示器不同色温到标准色温下的转换。

表 5 部分色块的 Lab 值
Tab.5 The Lab values of part of the colors

色块	9500 K			标准色温			转换到标准色温		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b
1	22.33	22.12	-30.44	21.75	19.87	-21.07	22.14	-21.74	20.09
2	42.18	11.04	-43.17	41.04	5.84	-29.54	41.17	6.06	-30.15
3	51.27	-8.17	-1.37	50.41	-9.54	24.45	50.89	-8.49	25.72
4	51.97	-7.38	-20.99	60.9	-19.84	-8.94	61.15	-18.87	-8.79
5	80.09	11.05	-38.29	79.76	8.44	-19.07	79.31	8.32	-19.17

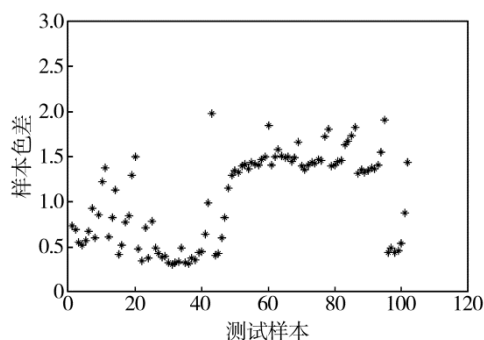


图 4 100 个验证样本的色差
Fig.4 Color difference map of 100 validation samples

3.2 主观实验

选取 LIVE 图像库中人物、动物、风景、房子等 4 类图像, 分别获取显示器色温为标准色温, 4500 K, 9500 K 和 4500, 9500 K 转换为标准色温时的显示效果图。选择 10 名颜色视觉感知正常的观察者 (5 男 5 女) 对这 3 幅图片进行主观打分实验, 其中以标准色温显示效果为标准图, 计算图片在色温条件下的 Z 得分。其中, 图像在转换增强前后 Z 得分分别为 -1.294 37 和 0.618 84, 说明此方法适用于 LCD 显示器不同色温下到标准色温的颜色转换。Womanhat 图在不同色温及转换后的显示效果见图 5。



图 5 不同色温及转换色温下 Womanhat 图的对比度
Fig.5 Contrast of Womanhat images with different color temperature and color conversion

4 结语

为了解决 LCD 显示器不同色温导致图像视觉感知有较大差异的问题, 提出了一种利用 BP 神经网络和色适应变换建立 LCD 显示器不同色温下相同颜色感知的图像增强方法。该方法利用 BP 神经

网络非线性转换和色适应模型在不同观察环境能良好地保持颜色外貌一致性的优势,使图像观察起来更加符合标准色温下的感知。另外,该方法还可以用于不同观察环境下相同颜色感知的图像增强。

参考文献:

- [1] 许宝卉.伽玛值、白场色温及亮度对显示效果的影响[J].液晶与显示,2011,27(1):51—55.
XU Bao-hui. Influence of Gamma, Color Temperature and Brightness on Display Effect[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2011, 27(1):51—55.
- [2] 司占军,胡媛,张显斗.专业显示器性能测试方法研究[J].包装工程,2012,33(5):102—106.
SI Zhan-jun, HU Yuan, ZHANG Xian-dou. Study on Performance Test Method of Professional Display[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5):102—106.
- [3] 李彦,王静,李娜,等.四元色液晶显示器色温与色重显性能的研究[J].电视技术,2013,37(2):36—39.
LI Yan, WANG-Jing, LI Na, et al. Research on Color Temperature and Color Reproduction Performance Based on Four Primary Colors Liquid Crystal Display[J]. Video Engineering, 2013, 37(2):36—39.
- [4] 赵小珍,刘波,章小兵,等.基于FPGA实现液晶显示器白平衡的调整方法[J].液晶与显示,2013,29(3):377—382.
ZHAO Xiao-zhen, LIU-Bo, ZHANG Xiao-bing, et al. Regulated Method of Realizing White Balance for LCD Based on FPGA[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2013, 29(3):377—382.
- [5] 李杰,王晓红.基于LCD显示器的色适应变换及模型评价[J].光学技术,2015,41(3):270—274.
LI-Jie, WANG Xiao-hong. Chromatic-adaptation Transforms Based on LCD Monitor and the Model Assessment[J]. Optical Technique, 2015, 41(3):270—274.
- [6] 汤顺青.色度学[M].北京:北京理工大学出版社,1990.
TANG Shun-qing. Colorimetry[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1990.
- [7] 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.
GONG Qiang, LI Yan-ni. Precision of Polynomial Regression Algorithm in Color Management[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3):93—96.
- [8] 丁桂芝,王晓红,刘太庆,等.基于BP神经网络的颜色测量仪器台间差自适应修正模型[J].包装工程,2013,34(23):102—106.
DING Gui-zhi, WANG Xiao-hong, LIU Tai-qing, et al. Adaptive Correction Model of Difference Between Color Measuring Instruments Based on Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(23):102—106.
- [9] 李丽霞,张逸新.神经网络在色空间转换中的应用[J].包装工程,2011,32(9):108—110.
LI Li-xia, ZHANG Yi-xin. Application of Network in Color Conversion[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9):108—110.
- [10] Program of Color Science/Munsell Color Science Laboratory[EB/OL].(2013-10-10).http://www.rit.edu/cos/colorscience/rc_munsell_renotation.php.
- [11] CHENG H D, CAI Xiao-peng, MIN Rui. A Novel Approach to Color Normalization Using Neural Network[J]. Neural Computer & Application, 2009(18): 237—247.
- [12] DING Shi-fei, SU Chun-yang. Application of Optimizing BP Neural Networks Algorithm Based on Genetic Algorithm[C]. Control Conference(CCC), 2010.
- [13] 吕兆锋,王晓红.基于饱和度优先的BP神经网络颜色空间转换模型研究[J].包装工程,2013,34(3):109—111.
LYU Zhao-feng, WANG Xiao-hong. Research on Color Space Conversion Model Based on Saturation Priority BP Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3):109—111.
- [14] Von KRIES J. Chromatic Adaptation[M]. Festschrift der Albrecht-Ludwigs-Universitat, 1902.
- [15] 刘浩学,武兵,黄敏,等.软打样可接受色差的研究[J].中国印刷与包装研究,2009(1):65—69.
LIU Hao-xue, WU Bing, HUANG Min, et al. Research on the Acceptable Color Tolerance of Soft Proofing[J]. China Printing and Packaging Study, 2009(1):65—69.