

包装印刷

一种 LCD 显示器颜色光谱反向特征化方法

麻祥才, 王晓红

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 为了实现颜色光谱到设备相关颜色空间的特征化。**方法** 采用一种 RBF 网络和立方体等级细分相结合的方法, 构建 LCD 显示器颜色光谱到 RGB 数值转换模型。**结果** 客观验证 343 个颜色光谱反向转换的平均色差为 0.61, 最大色差为 2.62。**结论** 该模型是一种精度较高的反向特征化模型。

关键词: 光谱颜色; LCD 显示器; 特征化; 色差

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)07-0188-03

The Method of LCD Display Color Spectrum Inverse Characterization

MA Xiang-cai, WANG Xiao-hong

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

ABSTRACT: The work aims to achieve the characterization of color spectrum to the device-related color space. RBF network and cube class subdivision were combined to construct a model for LCD display color spectrum to be converted into RGB numerical values. Based on objective verification, the average color difference of 343 reversely converted color spectra was 0.61 and the maximum color difference was 2.62. In conclusion, the proposed model is a model of higher precision and reverse characterization.

KEY WORDS: spectrum color; LCD display; characterization; color difference

LCD 显示器作为一种数字图像显示的设备, 其应用越来越广泛。目前, 对于显示器的特征化大多为设备相关 RGB 数值空间到设备无关 Lab (XYZ) 和光谱颜色空间的正向模型, 常见的方法有 GOG 模型法^[1]、多项式法^[2]、三维查表法^[3]、神经网络法^[4-5]等。为了在显示器上实现 Lab (XYZ) 颜色空间的颜色到 RGB 数值反向转换, 需要建立从设备无关的颜色空间到设备相关的颜色空间的特征化, 常用的方法有基于查找表的立方体细分法^[6-7]等。研究表明外界环境光和显示器色温对 LCD 显示器图像显示色彩的人眼视觉感知有较大影响^[8-10]。光谱是颜色的本质, 能最大限度保留颜色信息, 对于自发光体来说颜色光谱具有很好的叠加性。目前基于显示器的颜色光谱到 RGB 数值的反向转换却很少有人涉及, 因此有必要对显示器颜色光谱反向特征化进行研究。

为了实现颜色光谱到 LCD 显示器 RGB 值的转换, 采用一种 RBF 神经网络和立方体细分相结合的

方法构建 LCD 显示器颜色光谱的反向特征化模型。将颜色光谱进行主成分 (PCA) 降维, 利用 RBF 神经网络预测得到细分的节点, 最后进行立方体等级细分得到转换后的 RGB。

1 实验色块选取及条件

1.1 色块选取

选择显示器各通道分为 11 个等级的驱动值分别为 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 255 的 1331 个色块作为测试色块, 验证色块采用显示器三通道驱动值分别为 12, 42, 85, 132, 170, 212, 238 的 343 个色块。

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 6500 K, 光谱数据测量仪器使用 Eye one

收稿日期: 2016-04-06

作者简介: 麻祥才 (1991—), 男, 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, 博士, 上海理工大学教授, 主要研究方向为色彩管理和印品质量控制。

Pro2, 光谱数据范围为 380 ~ 730 nm, 光谱数据维数为 36 维。

2 基于神经网络和立方体细分的转换算法

2.1 神经网络和立方体细分的算法流程

神经网络在非线性转换方面有较强的优势^[11-12], RBF 神经网络比 BP 网络有较强的逼近能力、收敛速度快、结构简单、不容易陷入局部最优值优点。实验测量得到 1331 个色块的光谱数据, 利用颜色光谱降维数据和 RGB 数值, 训练 RBF 神经网络。颜色光谱反向特征化流程, 见图 1。

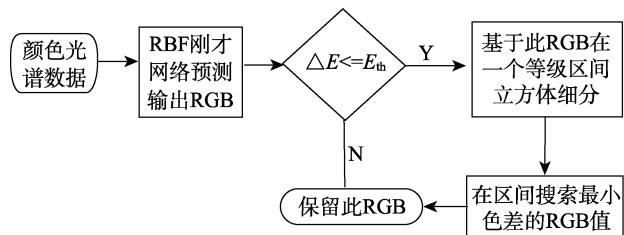


图 1 颜色光谱反向特征化流程
Fig.1 Color spectral reverse characteristics flowchart

1) 颜色光谱进行主成分降维, 降维颜色光谱数据作为 RBF 神经网络的输入端, 利用 RBF 网络预测得到 RGB 值。将所得 RGB 数据代入显示器光谱特征化的正向模型得到光谱^[4]。

2) 计算原始光谱与显示器光谱正向特征化得到光谱的积分色差 (ΔE)。设定的阈值色差为 E_{th} , 如果 $\Delta E \leq E_{th}$, 则保留 RGB 数据, 否则 R 在 $[R-m, R+m]$ 区间、 G 在 $[G-m, G+m]$ 区间、 B 在 $[B-m, B+m]$ 区间按照 N 等级细分插值所组成的节点搜索满足 $\Delta E \leq E_{th}$ 的 RGB 数据或者搜索过程中色差最小的 RGB 的数据。实验证明, 当 $m=20$ 时绝大多数所求的 RGB 数据都包含在此立方体内, 即使色域外的颜色通过此算法仍可以得到色差较小的 RGB 数据。

2.2 算法参数确定

1) 主成分个数确定。主成分分析法^[13-14] (PCA) 是将多维相关的数据变换成少量不相关的且包含原来多维数据信息的数学分析方法。利用色差的方法判断颜色光谱数据保留主要成分的个数。从表 1 可以看出, 颜色光谱前 6 个主成分重构后颜色色差变化较小, 说明前 6 个主成分能够很好地再现原来颜色信息。故将颜色光谱降到 6 维, 作为 RBF 网络的输入变量。

2) 立方体细分等级的确定。立方体细分等级 N 的大小直接影响转换精度和算法运算量, 实验验证 343 个颜色按照 $N=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ 等级细分转换到 RGB, 转换色差结果见表 2。从表 2 可以看出, 随着细分等级的增多, 转换精度越准确。从运算量和转换

精度方面考虑, 6 级和 7 级细分等级是比较适合的细分等级。文中采用 7 级细分等级进行反向转换。

表 1 光谱降维前与重构后的色差
Tab.1 Color difference of spectral reduction and reconstruction

主成分个数	ΔE^*_{00}	
	平均值	最大值
1	31.8121	80.4024
2	18.5561	59.8217
3	0.0437	1.4995
4	0.0415	1.4188
5	0.0411	1.4229
6	0.0409	1.3355
7	0.0408	1.3100
8	0.406	1.2746

表 2 立方体细分等级的色差
Tab.2 The color difference of cube subdivision grade

等级	ΔE^*_{00}	
	平均值	最大值
2 级	1.58	7.18
3 级	1.26	5.67
4 级	1.09	4.99
5 级	0.79	3.79
6 级	0.78	3.36
7 级	0.61	2.62
8 级	0.55	2.21
9 级	0.47	1.49

3 实验结果与分析

3.1 插值节点判断比较

通过实验验证 343 个色块在进行立方体细分等级之前寻找插值节点, 从转换精度、计算次数、用时比较文中算法与文献[7]的算法。其中, 文献[7]的最小色差^[15]为 0.71, 平均色差为 2.86, 最大色差为 5.15, 计算次数为 1331 次, 用时 36.68 s; 文中算法最小色差为 0.29, 平均色差为 2.42, 最大色差为 12, 计算次数为 1 次, 用时 4.98 s。

文中算法的平均色差和最小色差均小于文献[7]的色差, 最大色差较大是由于神经网络对色域外的颜色预测性能较差造成的, 但通过立方体等级细分可以找到色差较小的 RGB; 用 RBF 神经网络预测 1 次可以得到立方体细分的节点, 而文献[7]需要计算 1331 次比较得到色差最小的节点; 文中算法用时可以提高 6 倍。

3.2 转换精度比较

通过实验验证 343 个色块, 比较 7 级细分等级时文中算法与文献[7]算法转换精度。文献[7]的最小色

差为 0.15, 平均色差为 1.81, 最大色差为 4.61; 文中算法最小色差为 0.06, 平均色差为 0.61, 最大色差为 2.42。

文中算法的色差均小于文献[7]的色差, 尤其在平均色差方面提高最明显。实验验证 343 个色块转换色差分布见图 2。

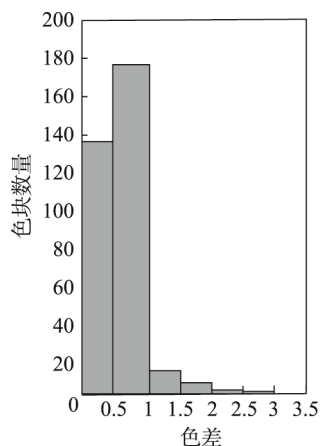


图 2 测试颜色色差分析

Fig.2 The analysis of test color difference

4 结语

光谱是颜色的本质, 能保留最多的颜色信息。文中利用 PRB 神经网络和立方体等级细分相结合的方法, 提出一种颜色光谱到显示器 RGB 数值的转换模型。在不影响精度的条件下进行主成分分析降维, 可以提高运行速度。实验证明 7 级细分等级可以很好地实现颜色光谱到 LCD 显示器 RGB 数据的转换。该模型还可以用来针对显示器显示图像的增强。

参考文献:

- [1] BERNIS R S. Methods for Characterizing CRT Displays[J]. Displays, 1996, 16(4): 173—182.
- [2] 洪亮, 楚高利. 基于多项式回归模型的显示器特征化研究[J]. 包装工程, 2013, 34(21): 85—89.
HONG Liang, CHU Gao-li. Characterization of Display Based on Polyomial Regression Model[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 85—89.
- [3] HUNG P C. Colorimetric Calibration in Electronic Imaging Devices Using a Look-up-table Model and Interpolations[J]. Journal of Electronic Imaging, 1993, 2(1): 53.
- [4] 于海琦, 刘真, 田全慧. 一种基于 RBF 神经网络的 LCD 显示器光谱特征化模型[J]. 包装工程, 2015, 36(19): 130—134.
YU Hai-qi, LIU Zhen, TIAN Quan-hui. A Spectral Characterization Model of Liquid Crystal Display Based on RBF Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(19): 130—134.
- [5] WANG Yong, XU Hai-song. Spectral Characterization of Scanner Based on PCA and BP ANN[J]. Chinese Optics Letters, 2003, 3(12): 725—728.
- [6] PO-CHIE H H. Colorimetric Calibration in Electronic Imaging Devices Using a Look-up-table Model and Interpolations[J]. Journal of Electronic Imaging, 1993, 2(1): 5.
- [7] 刘攀, 刘真, 朱明. 基于最佳立方体细分的显示器颜色再现模型[J]. 包装工程, 2014, 35(13): 128—132.
LIU Pan, LIU Zhen, ZHU Ming. Monitor Color Reproduction Model Based on Optimal Cube Subdivision[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 128—132.
- [8] XIN T, LAI S, WANG B, et al. A Simple Gray-edge Automatic White Balance Method with FPGA Implementation[J]. Journal of Real-Time Image Processing, 2015, 10(2): 207—217.
- [9] MIKI M, FUJIMOTO S, MOTOYA Y, et al. Maximization of the Average Color Rendering Index of Color Temperature and Illuminance Constraints[C]// Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on IEEE, 2013: 4583—4588.
- [10] 丁桂芝, 王晓红. 不同环境下移动终端显示色光谱特性研究[J]. 包装工程, 2015, 36(7): 123—128.
DING Gui-zhi, WANG Xiao-hong. Spectral Characteristics of Mobile Terminal Displayed Color under Different Ambient Illuminants[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(7): 123—128.
- [11] WILAMOWSKI B M, CECATI C, KOLBUSZ J, et al. A Novel RBF Training Algorithm for Short-term Electric Load Forecasting and Comparative Studies[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(10): 6519—6529.
- [12] 宋宜斌, 王培进. 基于径向基函数神经网络的非线性模型辨识[J]. 计算机工程, 2004, 30(5): 142—143.
SONG Yi-bin, WANG Pei-jin. A Nonlinear Model Recognition Based on RBF Neural Network[J]. Computer Engineering, 2004, 30(5): 142—143.
- [13] HANCOCK P J B, BADDELEY R J, SMITH L S. The Principal Components of Natural Images[J]. Network Computation in Neural Systems, 2009, 3(1): 61—70.
- [14] BOOKSTEIN F L, DOMJANIC J. The Principal Components of Adult Female Insole Shape Align Closely with Two of Its Classic Indicators[J]. Plos One, 2015, 10(8): 1—14.
- [15] LUO M R, CUI G, RIGG B. The Development of the CIE 2000 Colour-difference Formula: CIEDE2000[J]. Color Research & Application, 2001, 26(5): 340—350.