

一种基于RBF神经网络的LCD显示器光谱特征化模型

于海琦¹, 刘真¹, 田全慧²

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 上海出版印刷高等专科学校, 上海 200093)

摘要:目的 研究LCD显示器的光谱特征化。方法 提出一种基于RBF神经网络的显示器光谱特征化模型; 扩展神经网络模型输入变量的项数, 以提高特征化模型的精度。结果 实验结果表明: $[rg\ rb\ gb]$ 项的引入, 提高了特征化模型的光谱和色度精度, 以及网络的泛化能力; 引入 $[r^2\ g^2\ b^2]$, $[r^2\ g^2\ b^2]$, $[rg^2\ rb^2\ gr^2\ gb^2\ br^2\ bg^2]$ 均会导致模型精度下降及泛化能力降低; 以 $[r\ g\ b\ rg\ rb\ gb]$ 作为神经网络输入变量的特征化模型, 在精度和泛化能力上均是最优化的, 实现了平均色差为0.14的色度精度。结论 选择扩展项 $[rg\ rb\ gb]$ 作为输入变量的RBF神经网络模型对LCD显示器进行光谱特征化, 是一种高精度显示器特征化的最优模型。

关键词: RBF神经网络; 光谱特征化; LCD显示器; 扩展项

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)19-0130-05

A Spectral Characterization Model of Liquid Crystal Display Based on RBF Neural Network

YU Hai-qi¹, LIU Zhen¹, TIAN Quan-hui²

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to study the spectral characterization of LCD. A spectral characterization model based on RBF neural network was proposed in this paper. The prediction accuracy of model was improved by extending the input variables of neural network. Experimental results showed that introduction of $[rg\ rb\ gb]$ item could effectively improve the characterization chromaticity and spectral precision of the model as well as the generalization ability of the network, while introduction of $[r^2\ g^2\ b^2]$, $[r^2\ g^2\ b^2]$, $[rg^2\ rb^2\ gr^2\ gb^2\ br^2\ bg^2]$ item could decrease both the characterization precision of the model and the generalization ability of the network. The characterization model with input variable of $[r\ g\ b\ rg\ rb\ gb]$ terms of RBF neural network achieved the optimal precision and generalization ability, reaching the colorimetric accuracy of 0.14. Thus, RBF neural network model with input variables of $[rg\ rb\ gb]$ was the most optimized model for spectral characterization of LCD with high resolution.

KEY WORDS: RBF neural network; spectral characterization; LCD; extensions

显示器在颜色质量评价及屏幕软打样等精度要求较高的工业实践中得到广泛应用。实现对显示器高精度的颜色控制必须对显示器进行颜色特征化。颜色特征化模型的精准建立, 能够有效避免颜色在转

换过程中的丢失。

目前, 针对显示器的特征化模型主要分为2类: 第1类方法是色度特征化^[1-7], 直接建立RGB与XYZ或Lab色度值之间的转换模型, 色度特征化模型只针对

收稿日期: 2015-01-22

基金项目: 国家自然科学基金-青年基金(61301231); 上海市研究生创新基金(JWCXSL1402)

作者简介: 于海琦(1991—), 男, 山东威海人, 上海理工大学硕士生, 主攻光谱颜色复制。

通讯作者: 刘真(1953—), 女, 江苏泰州人, 硕士, 上海理工大学教授, 主要研究方向为色彩管理和印刷数字化工作流程。

特定的观察环境,观察环境改变模型亦需重新建立;第2类方法是建立驱动值与光谱反射率之间的转换模型,即显示器的光谱特征化模型^[8-9]。光谱反射率是一种既与设备无关,又与光照无关的颜色表示方法,是对颜色描述最好的选择,能够最大程度地避免色度特征化方法中的同色异谱问题,根据光谱可以得到任意观察条件下的色度信息。常用的特征化模型主要有GOG模型^[3]、查找表^[4]、多项式回归^[5-7]、神经网络^[6,10-13]等。在基于色度特征化的模型中,GOG模型是一种针对CRT显示器的模型,用于LCD显示器误差较大;查找表模型需要大量的样本,查找效率较低,多项式回归模型虽然模型简单、建模效率高,但是模型精度较差。基于光谱的特征化模型主要有刘浩学^[8-9]提出的基于光谱叠加性的特征化模型,但是该模型在单波长下建立驱动值与光谱的多项式模型,对于 n 维的光谱数据需建立 n 个回归方程,计算量大、模型复杂度高。

现有的基于神经网络模型的设备特征化多采用BP神经网络。文献[10]比较了BP神经网络和RBF神经网络在解决颜色复制非线性映射问题时的精度及网络稳定性,表明BP神经网络极易陷入局部极值,相同网络结构和参数的BP网络会得到不同的预测结果,导致预测结果不稳定,故BP神经网络并不适用于需要定量表示颜色的特征化模型;RBF神经网络建模速度快、预测结果稳定。基于此,这里提出一种基于RBF神经网络的光谱特征化模型,该模型建模效率和模型精度都较高。

1 实验设备及数据获取

实验设备: Eizo ColorEdge CG246W 显示器(亮度 120 cd/m^2 ,可视角度 $178^\circ/178^\circ$,最佳分辨率 1920 像素 $\times 1200$ 像素,面板类型IPS,屏幕比例 $16:9$),Konic-minolta CS-2000 Spectroradiometer。

样本制作:包括训练样本和检测样本,训练样本是对RGB色空间中各通道分别进行6级分割,即各通道颜色值分别取 $0, 50, 100, 150, 200$ 和 255 ,共 216 个色靶。检测样本是对RGB色空间中各通道分别进行6级分割,即各通道颜色值分别取 $0, 25, 75, 125, 175$ 和 225 ,共 216 个色靶。用Matlab编写生成色靶的代码。使用Eizo ColorEdge CG246W显示器,实验测量前显示器预热 0.5 h ,采用Konic-minolta CS-2000 Spectroradiometer测量色靶在 $400\sim 700 \text{ nm}$ 范围内、间隔为 10 nm 的光谱数据。

2 RBF神经网络模型及输入变量扩展

径向基神经网络(RBF Neural Network)^[7,9]的基本思想是以径向基函数作为隐单元的“基”,构成隐含层空间,隐含层将低维输入变量转换到高维空间,解决低维线性不可分的问题。RBF神经网络是一种局部逼近网络,只需对少量的权值和阈值进行修正,不存在BP神经网络的局部极值问题。RBF神经网络的基本特征是神经元输出值的大小与输入值到中心点的距离有关,距离中心点越近,神经元的输出值越大,神经元的激活区域呈现径向对称。

隐含层神经元径向基函数通常采用高斯函数。基于上述特征,神经元响应模型可表示为:

$$\varphi_i(x) = \exp\left(-\frac{\|x - c_i\|}{2\sigma_i^2}\right) \quad (1)$$

式中: x 为输入样本; c_i 为中心点; $\varphi_i(x)$ 为网格输出; σ 为宽度,决定了径向基函数围绕中心点的宽度^[10,14]。

在RBF神经网络训练前,需要首先确定分布密度Spread值,Spread值越大,网络的逼近误差会比较大,容易造成大量的运算。Spread值越小,网络逼近误差比较小,但网络的收敛速度较慢,泛化能力较差。目前,主流的最佳Spread值的方法是试凑法^[14],这里以通道驱动值作为神经网络的输入变量、光谱反射率作为输出变量,进行神经网络模型的训练,以色差 ΔE_{00} 最小为目标,循环迭代确定最佳Spread值。

陈奕艺^[15]的研究表明,在多项式回归模型中增加输入变量的扩展项,有效地提高了模型精度,但目前尚未在RBF神经网络中应用通道驱动值扩展的方法。这里通过驱动值扩展增加输入变量项数,分析不同扩展项作为输入变量对模型精度的影响,并确定最优的扩展输入变量使特性化模型精度最高。显示器通道驱动值的扩展方式有很多种,其中,使用最多的是在向量中增加通道的高阶项及通道之间的交叉项,如 rg, b^2, rb^2, rgb 等。这里选择的扩展输入变量为: $p_0=[r \ g \ b], p_1=[1 \ rgb \ p], p_2=[rg \ rb \ gb \ p], p_3=[1 \ rgb \ p_2], p_4=[r^2 \ g^2 \ b^2 \ p], p_5=[1 \ rgb \ p^4], p_6=[r^2 \ g^2 \ b^2 \ p_2], p_7=[1 \ rgb \ p^6], p_8=[r^3 \ g^3 \ b^3 \ p_7], p_9=[rg^2 \ rb^2 \ gr^2 \ gb^2 \ br^2 \ bg^2 \ p_7], p_{10}=[rg^2 \ rb^2 \ gr^2 \ gb^2 \ br^2 \ bg^2 \ r^3 \ g^3 \ b^3 \ p_6], p_{11}=[1 \ rgb \ p_{10}]$ 。

3 实验及分析

以扩展输入变量中的扩展项作为RBF神经网络

的输入变量、光谱反射率作为输出变量进行神经网络模型的训练,实验结果见表1。扩展输入变量中扩展项的项数分别为3,5,6,8,6,8,9,11,14,17,18和20。

以色差 ΔE_{00} 和均方根误差 RMSE 评价模型的色度精度和光谱精度,见图1。

通过表1和图1可知,与原输入变量 $[r\ g\ b]$ 相比,

表1 不同扩展项预测光谱的色度精度(ΔE_{00})

Tab.1 Colorimetric accuracy of spectral prediction with different extensions

索引	项数	分布密度	训练样本		检测样本		总样本	
			最大	平均	最大	平均	最大	平均
p_0	3	6	2.282	0.178	5.716	0.390	5.716	0.284
p_1	5	6	1.683	0.167	5.258	0.363	5.258	0.265
p_2	6	4	0.745	0.068	2.296	0.213	2.296	0.140
p_3	8	4	0.842	0.064	2.983	0.242	2.983	0.153
p_4	6	9	2.038	0.229	3.315	0.385	3.315	0.246
p_5	8	8	0.598	0.077	2.503	0.236	2.503	0.156
p_6	9	13	1.240	0.108	3.398	0.319	3.398	0.213
p_7	11	10	0.795	0.087	1.947	0.252	1.947	0.169
p_8	14	39	0.993	0.143	2.701	0.374	2.701	0.259
p_9	17	17	0.539	0.071	2.061	0.234	2.061	0.152
p_{10}	18	40	1.076	0.110	3.530	0.307	3.530	0.208
p_{11}	20	9	1.230	0.104	6.578	0.344	6.578	0.224

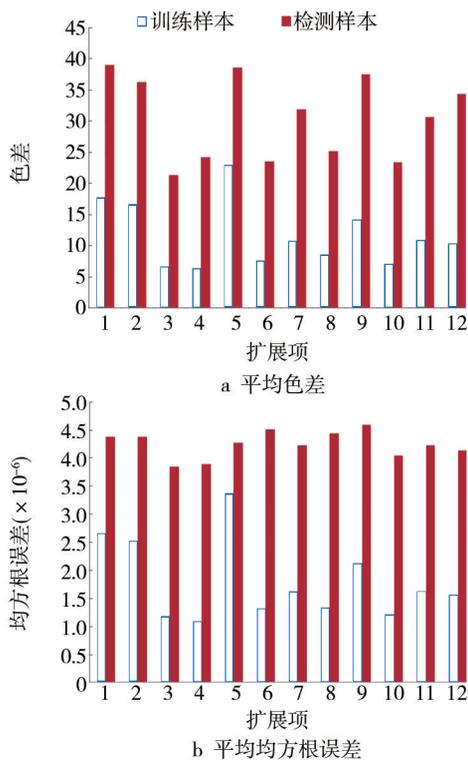


图1 不同扩展项的平均均方根误差和平均色差

Fig.1 Mean RMSE and mean ΔE_{00} with different extension

增加扩展项提高了特征化模型的色度精度和光谱精度,不同扩展项的引入对模型精度的影响不同。比较 p_1 和 p_0 , $[1\ rgb]$ 项的引入对模型精度的提高不大;比较 p_2 和 p_0 , $[rg\ rb\ gb]$ 的引入有效提高了模型的色

度和光谱精度,同时,提高了模型的泛化能力;比较 p_3 , p_2 和 p_0 ,在引入 $[rg\ rb\ gb]$ 的基础上引入 $[1\ rgb]$ 项,模型的精度反而下降,模型的泛化能力降低;比较 p_4 和 p_0 , $[r^2\ g^2\ b^2]$ 的引入降低了模型色度和光谱精度,即平方项的引入,会导致显示器特性化模型的精度下降;比较 p_8 和 p_7 , $[r^3\ g^3\ b^3]$ 的引入降低了模型色度和光谱精度;比较 p_6 和 p_{10} , $[rg^2\ rb^2\ gr^2\ gb^2\ br^2\ bg^2]$ 项亦导致精度下降,由此说明交叉平方项的引入对模型的精度影响不高。

综上所述, $[rg\ rb\ gb]$ 项是对模型精度提高最有效的引入项,由图1可知,其平均色差和RMSE均最小,而在 $[rg\ rb\ gb]$ 交叉项的基础上引入平方项 $[r^2\ g^2\ b^2]$ 、3次方项 $[r^3\ g^3\ b^3]$ 、平方交叉项 $[rg^2\ rb^2\ gr^2\ gb^2\ br^2\ bg^2]$ 均会导致模型精度的下降及泛化能力的降低,分析原因,可能是显示器成色是基于通道叠加性原理,而LCD显示器的通道独立性较差,通道之间存在干扰,故交叉项的引入能够有效地提高模型的精度;而单通道内部不存在干扰,故平方项及3次方项的引入对模型的精度影响较小。基于此,选择 $[rg\ rb\ gr\ gb\ br\ gb]$ 作为输入变量进行训练的RBF神经网络模型是显示器光谱特征化的最优模型。

分析检测样本精度较差的色块主要集中在3个通道驱动值都较小的色块,即暗调部分,比较 $[r\ g\ b]$ 和 $[r\ g\ b\ rg\ rb\ gb]$,分别作为输入变量得到光谱曲线,与测量光谱的光谱曲线比较,见图2。光谱误差

主要集中在波峰位置,叠加色是由3通道光谱叠加而成,通道之间的干扰对叠加之后波峰位置的反射率影

响最大, $[rg\ rb\ gb]$ 交叉项的引入减轻了通道之间的干扰,提高了光谱特征化精度。

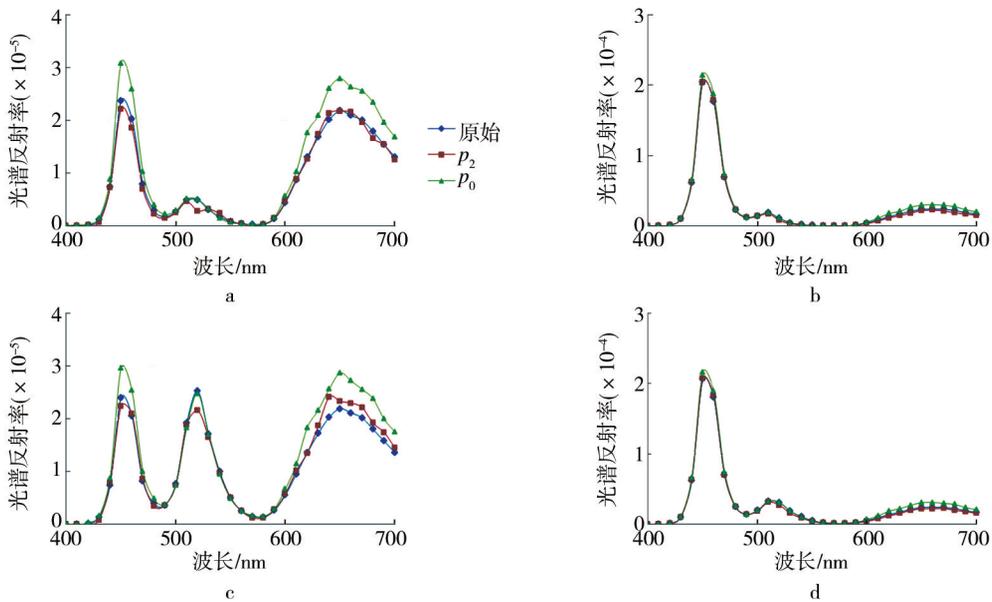


图2 原输入变量 P_0 与扩展输入变量 P_2 预测光谱反射率曲线比较

Fig.2 Curves of spectral reflectance predicted by original input variable P_0 and extensions input variable P_2

4 结语

采用RBF神经网络进行LCD显示器的光谱特征化模型研究,通过扩展原 r, g, b 输入变量的项数,提高模型的预测精度。实验结果表明: $[rg\ rb\ gb]$ 交叉项的引入能够有效提高模型的预测精度,同时提高网络的泛化能力;在 $[rg\ rb\ gb]$ 交叉项的基础上引入平方项 $[r^2\ g^2\ b^2]$ 、3次方项 $[r^3\ g^3\ b^3]$ 、平方交叉项 $[rg^2\ rb^2\ gr^2\ gb^2\ br^2\ bg^2]$ 均会导致模型精度的下降及泛化能力的降低,说明 $[rg\ rb\ gb]$ 交叉项对模型精度影响最大,分析原因,可能是交叉项的引入减轻了通道之间的干扰,使通道之间的线性增强,由此降低了特征化模型的误差。因此,选择 $[rg\ rb\ gr\ gb\ br\ gb]$ 作为模型输入变量的RBF神经网络训练模型是满足高精度显示器光谱特性化的最优模型。

参考文献:

[1] 宫睿,徐海松,张显斗,等.液晶显示器色度特征化的分空间补偿模型[J].光学学报,2011,31(4):0433001.
GONG Rui,XU Hai-song,ZHANG Xian-dou,et al. Sub-space Compensation Model for Accurate Colorimetric Characterization of Liquid Crystal Displays[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(4):0433001.

[2] 王勇,徐海松.液晶显示器颜色特征化的S模型算法[J].中

国图象图形学报,2007,12(3):491—494.

WANG Yong, XU Hai-song. The S Shaped Model for LCD Colorimetric Characterization[J]. Image and Graphic, 2007, 12(3):491—494.

[3] STOKES M, ANDERSON M, CHANDRASEKAR S, et al. A Standard Default Color Space for the Internet—Srgb[EB/OL]. [1996—11—05]. Version 1.10, <http://www.w3.org/Graphics/Color/Srgb.html>

[4] 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.

[5] 梁静,邓晶绿,姜婷婷,等. CRT显示器的颜色转换模型[J].大连工业大学学报,2011,30(4):293—296.
LIANG Jing, DENG Jing-lv, JIANG Ting-ting, et al. CRT Display Color Conversion Model[J]. Journal of Dalian Institute of Light Industry, 2011, 30(4):293—296.

[6] 许宝卉,李言.基于ICC标准的CRT色空间转换方法的研究与比较[J].液晶与显示,2009,3(24):438—442.
XU Bao-hui, LI Yan. Research and Comparison of CRT Color Space Conversions Based on ICC Standard of Color Management[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2009, 3(24):438—442.

[7] 李瑞娟. RGB到CIEXYZ色彩空间转换的研究[J].包装工程,2009,30(3):79—81.
LI Rui-juan. Study on Color Space Conversion Model from

- RGB to CIEXYZ[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 79—81.
- [8] 刘浩学, 崔桂华, 黄敏, 等. 按波长分区的LCD颜色特征化模型[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 10(33): 2751—2757.
LIU Hao-xue, CUI Gui-hua, HUANG Min, et al. Colorimetric Characterization of LCD Based on Wavelength Partition Spectral Model[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013, 10(33): 2751—2757.
- [9] 刘浩学, 郑岚, 代黎, 等. 基于光谱叠加特性的液晶显示器颜色特征化方法研究[J]. 光学学报, 2007, 27(5): 1233002—1.
LIU Hao-xue, ZHENG Lan, DAI Li, et al. Color Characterization of LCD Based on Spectral Additive Properties[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(5): 1233002—1.
- [10] 李金城. 色彩高保真复制的理论与实践[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
LI Jin-cheng. Theory and Practice of High-fidelity Color Reproduction[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2013.
- [11] 邹文海, 徐海松, 王勇. 基于彩色扫描仪的图像光谱重构[J]. 光学学报, 2007, 27(5): 859—863.
ZOU Wen-hai, XU Hai-song, WANG Yong. Spectral Reconstruction of Images Based on Color Scanner[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(5): 859—863.
- [12] WANG Yong, XU Hai-song. Spectral Characterization of Scanner Based on PCA and BP ANN[J]. Chinese Optics Letters, 2003(12): 725—728.
- [13] 何颂华, 张刚, 陈桥, 等. 基于BP神经网络的多基色打印机光谱特性化[J]. 包装工程, 2014, 35(13): 110—115.
HE Song-hua, ZHANG Gang, CHEN Qiao, et al. Spectral Characterization of Multicolor Printer Based on BP Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 110—115.
- [14] 卓金武. MATLAB在数学建模中的应用[D]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
ZHUO Jin-wu. Application of MATLAB in Mathematical Modeling[D]. Beijing: University of Aeronautics and Astronautics Press, 2011.
- [15] 陈奕艺. 基于数码相机的物体表面色光谱重构[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
CHEN Yi-yi. Spectrum Reconstruction of Surface Color Based on the Digital Camera[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.

(上接第75页)

- 2008, 35(1): 15—19.
GU Cheng-Xin. Analysis and Calculation of Uncertainty[J]. Measurement and Testing Technology, 2008, 35(1): 15—19.
- [12] 臧慕义. 分析测试不确定度的评定与表示[J]. 分析实验室, 2005, 24(11): 74—78.
ZANG Mu-Yi. Evaluation and Expression of Uncertainty for Chemical Analysis and Measurement[J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2005, 24(11): 74—78.
- [13] 王建清. 包装材料学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
WANG Jian-Qing. Package Material[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2009.
- [14] 刘喜生. 包装材料学[M]. 长春: 吉林大学出版社, 1997.
LIU Xi-Sheng. Package Material[M]. Changchun: Jilin University Press, 1997.
- [15] 孙诚. 包装结构设计[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
SUN Cheng. Package Structure Design[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2008.

欢迎订阅 欢迎投稿