

RBF神经网络在显示器色空间转换中的应用

洪亮¹, 李予², 楚高利¹, 王娜¹

(1. 河南工程学院, 郑州 450007; 2. 河南省新闻出版学校, 郑州 450044)

摘要: **目的** 研究RBF神经网络对显示器色彩空间转换预测准确性的方法。**方法** 通过编程借助Measure Tool软件自动测量获取建模和测试数据,通过反复测试选择建模合适的函数和参数,最后用RBF神经网络模型进行仿真实验,以获取较好的RGB转换到Lab色空间的转换模型。**结果** RBF神经网络模型测试得到的色块平均色差达到0.75,最大色差达到19.7。**结论** 该方法建模简单方便,网络训练速度快,转换精度高,对显示器色彩空间转换具有较好的非线性拟合能力和更高的预测准确性。

关键词: 色彩空间; 色块; RBF神经网络

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)23-0134-04

Application of RBF Neural Network in Color Space Conversion of Display

HONG Liang¹, LI Yu², CHU Gao-li¹, WANG Na¹

(1. Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 450007, China;

2. Henan Provincial Press and Publication School, Zhengzhou 450044, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the method for RBF neural network accuracy prediction of color space conversion of display. **Methods** The modeling and testing data were obtained by automatic measurement through programming with MeasureTool software, and suitable functions and parameters for modeling were selected by repeated testing, finally simulation experiment was carried out using RBF neural network model, in order to obtain a better model for conversion of RGB to Lab color space. **Results** The average color difference obtained in RBF neural network model tests was 0.75, and the maximum color difference reached 19.7. **Conclusion** The results showed that this modeling method was simple and convenient, with fast network training speed, high conversion accuracy, and had good non-linear fitting capability and higher prediction accuracy in color space conversion of display.

KEY WORDS: color space; color patch; RBF neural network

色彩空间转换是彩色图像数据以设备无关色彩空间为桥梁,在不同设备之间进行的转换。采用计算机控制技术实现显示器的RGB颜色空间与CIE(国际照明委员会)Lab颜色空间的相互变换,是近年来色度学领域的重要研究课题。目前,色空间转换主要有矩阵模型法^[1]、多项式回归算法^[2]、查找表法^[3]和神经网络法^[4]。在色空间转换中,从RGB色空间转换到Lab色空间是一个非线性的过程,用神经网络处理更符合这

种转换特性^[5]。采用径向基函数(Radial Basis Function,简称RBF)神经网络来实现液晶显示器中RGB与Lab色空间的转换研究。

1 RBF神经网络

BP神经网络权值和阈值的调节采用负梯度下降的方法,其收敛速度慢且容易陷入局部极小,必需寻

收稿日期: 2014-06-09

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究项目(13B510932); 河南工程学院数字印刷和纺织品印花色彩控制研究中心资助项目(YJJJ2013003)

作者简介: 洪亮(1977—),男,湖北阳新人,硕士,河南工程学院副教授,主要研究方向为印刷工程和多媒体制作。

找其他的神经网络模型来克服这些缺点^[6]。RBF神经网络学习速度比BP神经网络高,容易适应新数据,且有更好的泛化能力^[7]。鉴于此,实验选择RBF神经网络建立显示器色空间RGB-Lab转换模型。

1.1 RBF神经网络原理

RBF神经网络是由Powell M.J.D于1985年提出的,是以函数逼近理论为基础构造的一类前向型网络。RBF神经网络有2个网络层:隐层为径向基层,输出层为线性层^[8],见图1。

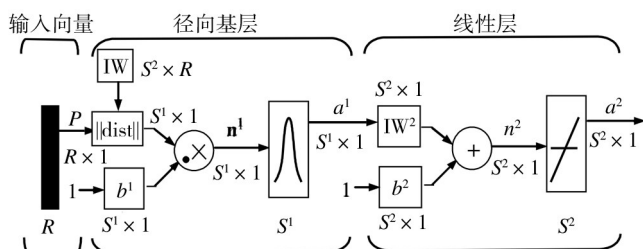


图1 RBF神经网络原理

Fig.1 Principle of RBF neural network

RBF网络的输入空间到隐含层空间的变换是非线性的,而从隐含层空间到输出层空间的变换是线性的^[9]。

假定输出层只有1个隐单元,令网络的训练样本对为 $\{\mathbf{X}_n, d_n\}$ ($n=1, 2, \dots, N$), 其中, $\mathbf{X}_n = [x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nM}]^T$ ($n=1, 2, \dots, N$) 为训练样本的输入, d_n ($n=1, 2, \dots, N$) 为训练样本的期望输出, 对应的实际输出为 Y_n ($n=1, 2, \dots, N$)。

基函数 $\phi(X, t_i)$ 为第 i 个隐单元的输出, $t_i = [t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{iM}]$ ($i=1, 2, \dots, I$) 为基函数的中心; w_i ($i=1, 2, \dots, I$) 为第 i 个隐单元与输出单元之间的权值; 基宽向量为 $\mathbf{B} = [b_1, b_2, \dots, b_M]^T$, b_j 为节点的基宽度参数, 且为大于零的数。

当网络输入训练样本 $\mathbf{X}_n$ 时, 网络的实际输出为:

$$Y(\mathbf{X}_n) = \sum_{i=1}^I w_i \phi(\mathbf{X}_n, t_i).$$

通常RBF使用的传递函数有高斯函数、多二次函数和逆多二次函数等。实验主要采用高斯基函数, 高斯基函数表示为: $\phi(X, t_j) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{X}_n - t_j\|^2}{2b_j^2}\right)$, $j=1, 2, \dots, m$; $\|\cdot\|$ 表示欧式范数。

总之, 径向基函数神经网络具有结构简单、训练速度快、最佳逼近性能和全局最优特性^[10], 同时它是一

种可以广泛应用于模式识别、非线性函数逼近等领域的神经网络模型^[11]。

1.2 确定RBF神经网络建模

1.2.1 模型数据选取

曹从军等^[12]提出采用ECI2002标准色靶数据1485, 建立CMYK到Lab颜色空间的RBF模型, 但这里建立的是RGB到Lab颜色空间的转换模型, 因此, 采用自定义的以液晶显示器显示的RGB色块值(即输入为三维向量)和对应色度Lab值(即输出为三维向量)为RBF神经网络的建模数据。

获取建模色块数据: 将RGB的3组数字驱动值按每隔51进行6级分割, 分别取其中1个值组成1种颜色, 则共有216种颜色色块, 即得到建模输入值 $\mathbf{P}$ 。

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 255 & 255 \\ 0 & 51 & 102 & 153 & \dots & 204 & 255 \end{bmatrix} \begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix}$$

测量216种颜色色块得到对应的216组Lab值, 即得到建模输出值 $\mathbf{T}$ 。

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 7 & 15 & \dots & 99 & 100 \\ 0 & 11 & 35 & 47 & \dots & -6 & 0 \\ 0 & -30 & -57 & -77 & \dots & 25 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} L \\ a \\ b \end{matrix}$$

获取测试色块数据: 将RGB的3组数字驱动值按每隔36进行(0, 36, 72, 108, 144, 180, 216, 255)8级分割, 分别取其中1个值组成1种颜色, 则共有512种颜色色块, 即得到测试色块输入值。测量512种颜色色块对应的512组Lab值, 即得到测试色块输出值。

1.2.2 确定建模函数

RBF神经网络的常用设计函数为newrbe和newrb。newrbe函数可以快速设计精确的零误差的径向基函数网络^[13], 调用格式为: “net=newrbe($\mathbf{P}$, $\mathbf{T}$, spread)”。其中, net表示建立的网络模型; $\mathbf{P}$ 为输入样本; $\mathbf{T}$ 为输出样本; spread表示径向基函数的扩散速度, 默认值为1.0。

newrb函数可以设计径向基函数网络^[14], 调用格式为: “net=newrb($\mathbf{P}$, $\mathbf{T}$, goal, spread, mn, df)”。其中, goal表示均方误差, spread表示径向基函数的扩散速度, mn表示最大神经元数, df表示2次显示之间所添加的神经元数目。

1.2.3 确定Spread值

Spread值对RBF神经网络的预测性能影响很大,

它决定了基函数围绕中心点的宽度。构建径向基函数网络时,需要对网络模型进行多次训练,以选取最佳性能的散步常数 Spread。

实验将 Spread 值在 1~1050 之间以 150 为间隔训练网络,然后分别将建模色块和测试色块代入网络仿真,求出网络的建模色块色差平均值和测试色块色差平均值,最后将网络的建模色块色差平均值和测试色块色差平均值作为网络的训练评价指标,即将测试色块色差平均值最小,且网络的建模色块色差平均值在允许范围内对应的 Spread 值用于最后的 RBF 神经网络。

实验选择建模色块、测试色块分别为 216 个和 512 个为基础,分别用函数 newrbe 和 newrb 建立 RBF 神经网络模型,通过仿真可以得到 RBF 网络的建模色块色差平均值及测试色块的色差平均值随 Spread 值变化的情况,见表 1。

表 1 建模色块色差平均值及测试色块色差平均值随 Spread 值变化情况

Tab.1 Average modeling color difference and variation of the average color difference with the Spread value

Spread 值	Newrbe 函数		Newrb 函数	
	建模色块 色差平均值	测试色块 色差平均值	建模色块 色差平均值	测试色块 色差平均值
1	0	88.6901	0	86.4582
150	0.0252	34.9340	0.0026	31.4570
300	0.2061	30.1900	0.2025	14.7808
450	0.3053	1.1536	0.3061	1.1079
600	0.4022	0.9609	0.4031	1.0225
750	0.5541	0.7587	0.5585	0.7548
900	0.5944	0.7896	0.5931	0.7914
1050	0.6714	0.8407	0.6938	0.8604

由表 1 的数值可知,当 Spread 值为 750 时,函数 newrbe 和 newrb 得到测试色块的色差平均值达到最小,网络的建模色块色差平均值也可以接受。由此,网络的 Spread 值选 750 来建立网络模型。

2 RBF 神经网络仿真色空间转换实验

2.1 仪器准备与数据测量

实验显示器为方正 FGC82、19 寸 LCD 显示器(选

择其他品牌液晶显示器使用提出的 RBF 神经网络仿真色空间效果相似,不再讨论),测量仪器为 Eye-One Pro 分光光度仪。测量前关闭计算机系统色彩管理模块功能,开机预热 0.5 h。

在 Measure Tool 软件中通过 Eye-One Pro 分光光度仪,测量并记录 216 个建模色块对应的 Lab 值和相应 RGB 值,存储到文本文件中,以供程序调用。

同样,在 Measure Tool 软件中通过 Eye-One Pro 分光光度仪,测量并记录 512 个测试色块对应的 Lab 值和相应 RGB 值,存储到文本文件中,以供程序调用。

2.2 RBF 神经网络精度分析

色空间转换仿真实验主要是基于 matlab 软件编写程序,实现利用建模数据建立 RBF 神经网络色空间转换仿真模型,将测试色块的仿真 Lab 值与测量 Lab 值进行色差 ΔE 大小比较,以检查色空间转换模型是否满足需求,测试比较的 ΔE 计算公式为:

$$\Delta E=[\Delta L^2+\Delta a^2+\Delta b^2]^{1/2}$$

在确定函数 newrbe 或 newrb 和测试 512 个色块为均匀色彩空间色块情况下,实验中分别选取均匀色彩空间 27(3 级分割得到的色块数)、64(4 级分割得到的色块数)、125(5 级分割得到的色块数)、216(6 级分割得到的色块数)、512(8 级分割得到的色块数)个建模色块,作建模数量对模型精度的影响分析。其结果见表 2。

表 2 RBF 神经网络模型的建模数和测试数对色差的影响
Tab.2 Effect of the number of building modules and test counts of the RBF neural network model on the color difference

建模 色块 数/个	测试 色块 数/个	Newrbe 函数		Newrb 函数	
		平均 色差	最大 色差	平均 色差	最大 色差
27		25.5862	67.9501	21.9951	59.2126
64		17.4730	58.7150	16.3810	51.6258
125	512	8.2356	28.5236	8.0562	27.2543
216		0.7587	19.7786	0.7548	19.7031
512		0.6967	18.1788	0.6912	18.2043
	27	0.5898	1.6857	0.5638	1.7068
	64	0.7989	3.0411	0.7595	3.1953
216	125	0.6578	2.6901	0.6329	2.7234
	216	0.5541	2.5057	0.5585	2.6941
	512	0.7587	19.7786	0.7548	19.7031

从表2数据比较可以看出,建模色块数量越多,模型色差越小,即从27个建模色块平均色差25.5862降到512个建模色块平均色差0.6967,色差降低幅度非常大。尤其当建模色块增加到216个以上,模型色差的减小幅度较小,同时模型色差精度达到1以下。因此,建模色块一般选择216个以上比较合适。

在确定函数 newrbe 或 newrb 和建模216个色块为均匀色彩空间色块情况下,实验分别选取均匀色彩空间27,64,125,216,512个测试色块,作测试数量对模型精度的影响分析,其结果见2。从表2数据比较可以看出,测试色块数量多少对模型精度影响不大。考虑到测试色块的代表性,测试色块一般选择512个比较合适。

综合考虑,该实验最终选择建模色块216个和测试色块512个,分别用 newrbe 和函数 newrb 建立 RBF 神经网络模型,比较影响效果。统计表2色差数据可知,newrbe 建模得到的色差平均值为0.7587,色差最大值为19.7786;newrb 建模得到的色差平均值为0.7548,色差最大值为19.7031。函数 newrbe 和 newrb 得到的色差平均值相差只有0.0039,可见2个函数建模精度差不多。

3 结语

研究表明:RBF神经网络的训练是确定 Spread 值的过程,因此训练速度较快,而且其转换精度高(实验采用的建模216个色块和测试512个色块所得模型精度分别达到0.7587或0.7548)。实验利用RBF神经网络的最佳逼近性能、全局最优特性和高度非线性转换的优势,构建了基于RBF神经网络的颜色空间转换模型,并进行相同的间隔采样,提高了整个网络的泛化能力^[15]。总之,基于Matlab建立RBF神经网络模型,解决了传统方法对非线性预测精度不高和建模复杂的问题,同时为色彩转换研究开拓了新的思路。

参考文献:

[1] 许宝卉,李言. 基于色彩管理的彩色CRT特征函数的研究[J]. 包装工程,2007,28(3):74—76.
XU Bao-hui, LI Yan. Research Based on Color CRT Characteristic Function of Color Management[J]. Packaging Engi-

neering, 2007, 28 (3): 74—76.
[2] 洪亮,楚高利. RGB到CIEXYZ色彩空间转换的研究[J]. 包装工程,2013,34(21):85—89.
HONG Liang, CHU Gao-li. Study RGB to CIEXYZ Color Space Conversion[J]. Packaging Engineering, 2013, 34 (21): 85—89.
[3] 李瑞娟,邓倩. 基于三维查找表的RGB到XYZ颜色空间转换的研究[J]. 包装工程,2012,33(13):116—119.
LI Rui-juan, DENG Qian. Study RGB to XYZ Color Space Conversion Based on Three-dimensional Look-up Table[J]. Packaging Engineering, 2012, 33 (13): 116—119.
[4] ASLANTAS V. A Singular-value Decomposition-based Image Watermarking Using Genetic Algorithm[J]. AEU International Journal of Electronics and Communications, 2008, 62 (5): 386—394.
[5] 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 Neural Network in Color Conversion[J]. Packaging Engineering, 2011, 32 (9): 108—110.
[6] LI Xin-wu. A New Color Correction Model for Based on BP Neural Network[J]. Advanced in Information Sciences and Service Sciences, 2011, 3 (5): 72—79.
[7] 孙小鹏,孔玲君,刘真. 基于胞元式RBF神经网络的高保真分色模型研究[J]. 包装工程,2013,34(1):110—114.
SUN Xiao-peng, KONG Ling-jun, LIU Zhen. Study on High Fidelity Color Model Cell Type Based on RBF Neural Network [J]. Packaging Engineering, 2013, 34 (1): 110—114.
[8] ZHI Huang, HONG Yuan. Research on Regional Ionospheric TEC Modeling Using RBF Neural Network[J]. Science China Technological Sciences, 2014, 57(6): 1198—1205.
[9] FEI Jun-tao, DING Hong-fei. Adaptive Sliding Mode Control of Dynamic System Using RBF Neural Network[J]. Nonlinear Dynamics, 2012, 70(2): 1563—1573.
[10] ERIC P J. Integrating Background Knowledge into RBF Networks For Text Classification[J]. H Lital (Eds), 2008, 499: 61—70.
[11] WU Xiong-Jun, JIANG Guan-Cheng, WANG Xiao-Jun. Prediction of Reservoir Sensitivity Using RBF Neural Network with Trainable Radial Basis Function[J]. Neural Computing and Applications, 2013, 22(5): 947—953.
[12] 曹从军,刘强裙. 基于径向基函数神经网络的颜色空间转换研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2010(11): 48—51.
CAO Cong-jun, LIU Qiang-qun. Study on Conversion of
(下转第148页)

- neering, 2008, 29(8):50.
- [20] 郑元林. 印刷品质量检测与控制技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- ZHENG Yuan-lin. Testing and Control Technology of Print Quality[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010
- [21] 韩春阳, 孙炳新, 张佰清. 单色线条调原稿丝印质量影响因素的研究[J]. 包装工程, 2008, 29(6):55—57.
- HAN Chun-yang, SUN Bing-xin, ZHANG Bai-qing. Research on Influencing Factors of Screen Printing Quality of Homochromous Line Manuscript[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6):55—57.
- [22] SHEN Shi-zhe, BERNIS R S. Color-difference Ellipsoids for Five CIE Colour Centres[J]. Color Research & Application, 1986, 11(3):185—195.
- [23] 吕备战. 浅析影响印刷品色差的主要因素[J]. 印刷技术, 2004(34):64.
- LYU Bei-zhan. Analysis of the Main Factors Affecting the Color Difference of the Print[J]. Printing Technology, 2004 (34):64.
- [24] 叶义成. 丝网印刷工艺参数分析与研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
- YE Yi-cheng. Research and Analyses the Technologic Parameters of Screen Printing[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007.
-
- (上接第 119 页)
- 2205.
- LIN Sen, YUAN Wei-qi, WU Wei, et al. Blurred Palmprint Recognition Based on DCT and Block Energy of Principal Lines[J]. Optoelectronics · Laser, 2012, 23(11):2201—2205.
- [20] 马建设, 任振波, 苏萍, 等. 多重全息水印技术[J]. 光学精密工程, 2013, 21(8):2112—2114.
- MA Jian-she, REN Zhen-bo, SU Ping, et al. Multiple Water-marking Technique Based on Computer Generated Hologram [J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(8):2112—2114.
- [21] 王珣, 肖斌, 马建峰. 基于 Radon 和解析 Fourier-Mellin 变换的尺度与旋转不变目标识别算法[J]. 中国图像图形学报, 2008, 13(11):2159—2160.
- WANG Xuan, XIAO Bin, MA Jian-feng. Scaling and Rotation Invariant Analysis Approach to Object Recognition Based on Radon and Analytic Fourier-mellin Transforms[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(11):2159—2160.
- [22] 吴丽丽, 余春艳. 基于 Sobel 算子和 Radon 变换的车牌倾斜校正方法[J]. 计算机应用, 2013, 33(S1):220—222.
- WU Li-li, YU Chun-yan. Tilt Correction Method of License Plate Based on Sobel Operator and Radon Transform[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(S1):220—222.
- [23] 靳鑫, 蒋刚毅, 陈芬, 等. 基于结构相似度的自适应图像质量评价[J]. 光电子·激光, 2014, 25(2):379—383.
- JIN Xin, JIANG Gang-yi, CHEN Fen, et al. Adaptive Image Quality Assessment Method Based on Structural Similarity[J]. Optoelectronics · Laser, 2014, 25(2):379—383.
- [24] 范媛媛, 沈湘衡, 桑英军, 等. 基于对比度敏感度的无参考图像清晰度评价[J]. 光学精密工程, 2011, 19(10):2486—2492.
- FAN Yuan-yuan, SHEN Xiang-heng, SANG Ying-jun, et al. No Reference Image Sharpness Assessment Based on Contrast Sensitivity[J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19 (10):2486—2492.
- [25] 王正友, 李振兴, 林维斯, 等. 结合 HVS 和相似特征的图像质量评估方法[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(7):1607—1610.
- WANG Zheng-you, LI Zhen-xing, LIN Wei-si, et al. Improved Image Quality Assessment Model Incorporating HVS and FSIM[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 33(7):1607—1610.
-
- (上接第 137 页)
- Radial Basis Function Neural Network Based on Color Space [J]. China Printing and Packaging Research, 2010 (11):48—51.
- [13] SIMONENKO S, BAYONA V, KINDELAN M. Optimal Shape Parameter for the Solution of Elastostatic Problems with the RBF Method[J]. Journal of Engineering Mathematics, 2014, 85 (1):115—129.
- [14] AKBILGIC O, BOZDOGAN H, BALABAN M E. A Novel Hybrid RBF Neural Networks Model as a Forecaster[J]. Statistics and Computing, 2014, 24(3):365—375.
- [15] 刘容, 王强, 刘真. 基于分区的 RBF 神经网络颜色空间转换模型的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(11):85—88.
- LIU Rong, WANG Qiang, LIU Zhen. Study on the Transformation Model Partition of RBF Neural Network Based on the Color Space[J]. Packaging Engineering, 2013, 34 (11):85—88.