

基于粒子群算法优化 BP 神经网络的色彩空间转换

洪亮, 李瑞娟

(河南工程学院, 郑州 450007)

摘要: **目的** 研究基于粒子群算法优化 BP 神经网络对显示器色彩空间转换的预测准确性的方法。**方法** 主要通过数据归一化处理、改进最大限制速度、惯性常数和适应度函数来优化 BP 神经网络的权值和阈值,以缩小其分布范围,再用 BP 神经网络法进行色差预测。**结果** 改进粒子群算法优化 BP 神经网络预测模型,测试 20 次得到色块平均色差为 2.8526,最小平均色差为 2.0453。**结论** 该方法大大降低了 BP 神经网络预测模型陷入局部极小值的可能性,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;神经网络;粒子群算法

中图分类号: TS801.3; TB183

文献标识码: A

文章编号: 1001-3563(2014)09-0105-05

Optimization of Color Space Conversion in BP Neural Network Based on Particle Swarm

HONG Liang, LI Rui-juan

(Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 450007, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the method for prediction accuracy of color space conversion of monitor in BP neural network optimized based on particle swarm optimization. **Methods** The weights and threshold of the BP neural network were mainly optimized through the improvement of data normalization and maximum limiting speed, inertia constant and the fitness function, in order to reduce their distribution range, and predict the color difference through the BP neural network method. **Results** Through improved particle swarm optimization algorithm of BP neural network prediction model, after 20 times of tests, the average color difference reached 2.8526, and the minimum average color difference reached 2.0453. **Conclusion** The results showed that the method could greatly reduce the probability of BP neural network prediction model falling into local minima, resulting in good non-linear fitting capability and higher prediction accuracy in color space conversion.

KEY WORDS: color space; neural network; PSO

随着电子图像大量被采用,显示器成为最主要、最直观的图像输出设备,显示器的精确颜色特性化是色彩管理的基础工作之一^[1]。为了减少色彩在不同设备和系统上造成的差异,将与设备有关的色彩模型 RGB 转换成与设备无关的色彩模型 Lab,以实现色彩的管理。目前实现显示器色彩空间转换算法主要分为模型法^[2]、多项式回归法^[3]、三维查找表插值

法^[4]和 BP 神经网络法^[5]。

BP 神经网络法预测显示器特性化后的 Lab 值仍然存在一些缺陷,如学习收敛速度太慢、不能保证收敛到全局最小点等。文中选择粒子群算法作为通过追随当前搜索到的最优值来寻找全局最优,从而寻找到最合适的网络权值和阈值,即采用粒子群算法优化 BP 神经网络的 LCD 显示器色彩管理模型,以科学、

收稿日期: 2014-02-28

基金项目: 2013 年河南省教育厅自然科学研究项目(13B510932)

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包装、多媒体制作。

准确地预测显示器特性化后的 Lab 值。

1 粒子群算法优化 BP 神经网络

1.1 BP 神经网络法

神经网络是相互连接的神经元的集合,其功能是通过学习和训练神经元间的连接权值实现的^[6]。在实际应用中,大部分神经网络模型都采用 BP 神经网络及其变换形式^[7]。BP 网络的学习分为正向和反向 2 个过程,正向训练过程达不到期望输出时,通过误差的反向传播来调整修正网络权值,直至期望值和目标值的误差在可接受范围内为止^[8]。一般 BP 神经网络是由输入层、中间层和输出层组成的阶层型神经网络。在基于 BP 算法的多层前馈网络的应用中,单隐层神经网络的应用最为普遍^[9]。

BP 神经网络建模步骤:输入建模数据并进行归一化处理,构建 BP 神经网络,训练神经网络,用测试数据测试神经网络精度。

1.2 粒子群算法

粒子群算法也称粒子群优化算法 (PSO)^[10],是一种基于群体智能的全局随机搜索算法。PSO 算法是从随机解出发,通过迭代寻找最优解,即通过追随当前搜索到的最优值来寻找全局最优^[11]。PSO 算法具有实现容易、精度高、收敛快等优点,在解决实际问题中展示了其优越性^[12]。

标准粒子群算法原理为:假设在一个 d 维的目标搜索空间中,有 N 个粒子组成一个群落,在找到 2 个最优值(个体极值和全局极值)时,粒子根据公式(1)和(2)来更新自己的速度和位置:

$$v_{id}^{k+1} = \omega \times v_{id}^k + c_1 r_1 (pbest_{id} - x_{id}^k) + c_2 r_2 (gbest_d - x_{id}^k) \quad (1)$$

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1} \quad (2)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, N$ (N 是群体中粒子的总数); ω 为惯性权重因子; v_{id} 为第 i 个粒子的第 d 个速度分量; x_{id} 为第 i 粒子的第 d 个位置分量(全局极值); $pbest_{id}$ 为第 i 个粒子的最好位置分量(个体极值); $gbest_d$ 为所有粒子的最好位置分量(全局极值); k 为当前迭代次数; c_1 和 c_2 为学习因子(根据经验,通常 $c_1 = c_2 = 2$); r_1 和 r_2 为 $[0, 1]$ 范围内的均匀随机数。通常公式(1)和(2)被视为标准粒子群算法。

注意:式(1)和式(2)中的速度和位置均没有单位,仅用数字记录 2 种状态分量。

1.3 粒子群算法优化 BP 神经网络

文中对粒子群算法进行改进,并用改进的粒子群算法优化 BP 神经网络,从而将粒子群算法的全局寻优能力与 BP 算法的指导性搜索思想相结合,既克服了寻优中的盲目性,又避免了局部收敛情况的发生,使网络性能得到极大的改善。

1.3.1 粒子群算法优化 BP 神经网络思路

文中采用归一化数据处理和改进粒子群算法中的适应度函数等来优化神经网络权值和阈值,其优化思路流程见图 1。

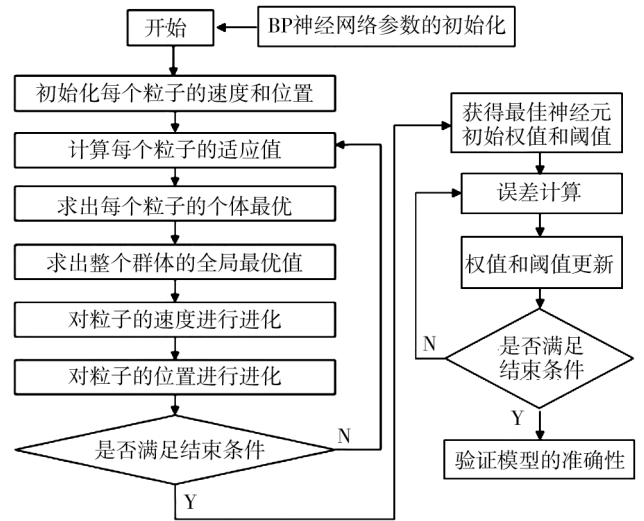


图 1 粒子群算法优化 BP 神经网络流程

Fig. 1 Flow chart of BP neural network optimization based on particle swarm optimization algorithm

1.3.2 粒子群算法优化 BP 神经网络重要参数

设定 3 层 BP 神经网络结构输入层节点数为 $indim$, 隐层节点数为 $hiddennum$, 输出层节点数为 $outdim$ ^[14]。

1.3.2.1 数据归一化处理

在训练网络之前,需要归纳统一样本的统计分布性。实验采用 $premnmx$ 函数将网络的输入数据 (RGB 数值) 和输出数据 (Lab 数值) 进行归一化,归一化后的数据将分布在 $[-1, 1]$ 区间内。

训练数据归一化编程效果:

$[TrainInn, minTrainIn, maxTrainIn, TrainOutn, minTrainOut, maxTrainOut] = premnmx (TrainIn, TrainOut);$

预测数据归一化编程效果:

$[TestInn, minTestIn, maxTestIn, TestOutn, minTestOut, maxTestOut] = premnmx (TestIn, TestOut);$

输出结果反归一化编程效果:

Ptest = TestInn; y1 = sim(net, Ptest); Ttest = postmnmx(y1, minTestOut, maxTestOut);

相关实验证明采用数据归一化连续进行训练多次得到的平均色差上下波动幅度小且稳定,这样便于选取的结果分析误差小。

1.3.2.2 最大限制速度设定

在每一维空间内,粒子均有一个限制速度,称为最大限制速度,记为 $v_{\max}$ 。最大速度 $v_{\max}$ 决定当前位置与最好位置之间的区域精度。如果太快,则粒子有可能越过极小点;如果太慢,则粒子不能在局部极小点之外进行足够的探索,会陷入到局部极值区域内。

所以,为保证粒子在最优解附近搜索,需设定其最大限制速度 $v_{\max}$ 。这种限制可以达到防止计算溢出、决定问题空间搜索粒度的目的。在多次实验基础上文中设置最大限制速度取经验值为 $v_{\max}=0.5$ 。

1.3.2.3 惯性权重因子的改变

粒子群算法中,惯性权重因子是最重要的可调整参数。多次实验发现,动态 w 能够获得比固定值 w 稳健和更好的寻优结果。文中提出采用基于迭代次数的惯性权重因子递减方法以保证收敛,编程效果为“ $W(\text{iter}) = w_{\max} - ((w_{\max} - w_{\min}) / \text{itmax}) * \text{iter}$;”其中, W 表示惯性权重因子, $w_{\max}$ 表示最大惯性权重因子($w_{\max}$ 取值为 0.90), $w_{\min}$ 表示最小惯性权重因子($w_{\min}$ 取值为 0.30), itmax 表示最大迭代次数(itmax 取值为 50), iter 取值为 1 : itmax 。

1.3.2.4 改进适应度函数

文中选取指数函数对粒子群算法的适应度进行拉伸,以克服粒子群算法在复杂高维、多峰搜索问题中的早熟现象,提高其搜索性能。具体变换过程如下所述。

首先确定网络的误差值公式“ $E_k = T_k - T_{1k}$ ”(T_k 为网络的测量值, T_{1k} 为网络的预测输出值)。

然后确定所有样本的平均色差值公式“ $E_1 = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^N \sqrt{E(1,k)^2 + E(2,k)^2 + E(3,k)^2}$ ”(N 代表样本数量)。

最后确定染色体的适应值编程效果为“ $\text{fitness} = \exp(1/E_1)$;”。

1.3.2.5 微粒群更新迭代部分重要参数设置

通过粒子的维度空间与神经网络连接权值的映射关系,可得粒子的搜索空间维数设置,编程效果为:

“ $D = (\text{indim} + 1) * \text{hiddennum} + (\text{hiddennum} + 1) * \text{outdim}$;”

建立 BP 神经网络,编程效果为:

“ $\text{net} = \text{newff}(\text{minmax}(\text{TrainInn}), [\text{hiddennum}, \text{outdim}], \{\text{'tansig'}, \text{'purelin'}\}, \text{'trainlm'})$;”

计算适应值,编程效果为:

“ $\text{fitness} = \text{fitcal}(X, \text{net}, \text{indim}, \text{hiddennum}, \text{outdim}, D, \text{Ptrain}, \text{Ttrain})$;”

更新速度,编程效果为:

“ $V(:, :, 2) = W(1) * V(:, :, 1) + c1 * \text{rand} * (\text{pbest}(:, :, 1) - X(:, :, 1)) + c2 * \text{rand} * (G(:, :, 1) - X(:, :, 1))$;”

将最优微粒(即最优权值和阈值)赋给神经网络设置,编程部分效果为:

“ $\text{x2iw}(t, :) = \text{gbest}(1, ((t - 1) * \text{indim} + 1) : t * \text{indim}, j)$;

$\text{x2lw}(r, :) = \text{gbest}(1, (\text{indim} * \text{hiddennum} + 1) : (\text{indim} * \text{hiddennum} + \text{hiddennum}), j)$;

$\text{x2b} = \text{gbest}(1, ((\text{indim} + 1) * \text{hiddennum} + 1) : D, j)$;

$\text{x2b1} = \text{x2b}(1 : \text{hiddennum}).'$;

$\text{x2b2} = \text{x2b}(\text{hiddennum} + 1 : \text{hiddennum} + \text{outdim}).'$;

$\text{net.IW}\{1, 1\} = \text{x2iw}$;

$\text{net.LW}\{2, 1\} = \text{x2lw}$;

$\text{net.b}\{1\} = \text{x2b1}$;

$\text{net.b}\{2\} = \text{x2b2}$;”

2 粒子群算法优化 BP 神经网络仿真实验

2.1 仪器校准预热与数据测量

实验显示器为方正 FGC82 型号 19 寸 LCD 显示器,测评仪器为爱色丽 Eye-One Pro 分光光度仪,校正和特性化软件为 i1Profiler,运行平台为 Windows XP 系统。测量前对显示器预热 30 min,使它们进入稳定的工作状态。启动 i1Profiler 软件,连接 Eye-One Pro,按照提示操作进行校正并生成 LCD 显示器 ICC 特性文件,最后软件自动将该 ICC 文件设置为当前 LCD 显示器系统的配置文件。

建模色靶的确定:将 RGB 的数字驱动值由 0 到 255 按每隔 51 进行 6 级分割(即 0, 51, 102, 153, 204, 255)。用 Matlab 编写产生色块程序,RGB 分别取其中一个值组成一种颜色,这样共有 6^3 即 216 个色块。在 MeasureTool 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。

测试色靶的确定:将 RGB 的数字驱动值由 0 到 255 按每隔 36 进行 8 级均匀分割(即 0,36,72,108,144,180,216,255),共得到 512 个测试色块。在 MeasureTool 软件中通过 Eye-One Pro 分光光度仪测量并记录 512 个建模色块的 Lab 值和相应 RGB 值存储到文本文件中。

2.2 粒子群算法优化 BP 神经网络的精度分析

为了便于比较,文中在 Matlab 环境下编写算法程序以构建 2 种预测模型:BP 神经网络预测模型(BP 模型)和采用粒子群算法优化 BP 神经网络的预测模型(PSO-BP 模型)。实验采用最小平均色差 ΔE 作为评价标准,测试比较色差基于 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 均匀颜色空间色差计算公式: $\Delta E_{Lab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ 。

应用 2 种预测模型分别对相同数据连续进行测试 20 次,整理相关数据见表 1 和图 2。

表 1 BP 与 PSO-BP 神经网络模型相关数据
Tab.1 Related data on BP and the PSO-BP neural network model

模型类型	测试次数	最大 ΔE 平均值	最小 ΔE 平均值	ΔE 平均值	$\Delta E < 3$ 的次数	达到预设目标率/%
BP	20	13.0438	1.2247	3.7169	12	60
PSO-BP	20	4.0166	2.0453	2.8526	13	65

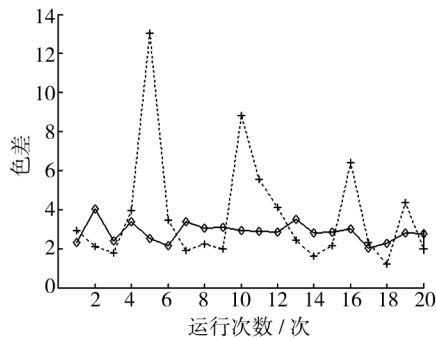


图 2 BP 与 PSO-BP 神经网络模型色差精度比较
Fig.2 Comparison of BP and the PSO-BP neural network model for color accuracy

分析表 1 可知,在相同网络结构、传递函数、训练函数及期望误差等条件下,PSO-BP 网络模型精度(ΔE 平均值为 2.8526)高于 BP 网络(ΔE 平均值为 3.7169),说明 PSO-BP 网络模型对色彩空间转换非线性拟合能力比 BP 网络更强,粒子群算法的确能有效优化 BP 网络初始权值和阈值。

从图 2 可知,虚线相连的加号图是 BP 模型处理

效果,其中出现平均色差极大值或极小值;直线相连的菱形图是 PSO-BP 模型处理效果,样本的平均色差在 2.8526 左右波动,幅度小且稳定。

3 结语

文中通过显示器 RGB 色彩空间向 Lab 色彩空间转换预测模型,将 PSO 算法混合到 BP 神经网络中寻找最合适的网络权值和阈值,通过适当地调节参数,发挥各自的优点,提高 PSO 算法的开发能力,防止算法早熟,来共同提高 PSO 算法的全局寻优能力^[15]。

PSO-BP 模型平均色差达到 2.8526,表明该方法大大降低了 BP 神经网络预测模型陷入局部极小值的可能,提高了模型收敛速度^[16]。相对于 BP 神经网络预测模型,该模型对于显示器色彩空间转换具有更好的非线性拟合能力和更高的预测精度,为色彩空间转换提供新的途径和方法,也为 PSO 算法的推广与改进提供了思路。

参考文献:

[1] 许敬亚,刘浩学,黄敏.液晶显示器颜色计算方法的探讨[J].中国印刷与包装研究,2010,11(2):89—93.
XU Jing-ya,LIU Hao-xue,HUANG Min. Calculation Method of Liquid Crystal Display Color[J]. China Printing and Packaging,2010,11(2):89—93.

[2] 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 Engineering,2007,28(3):74—76.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] HOPFIELD J J,TANK D W. Neural Computation of Decisions in Optimization Problems[J]. Biological Cybernetics, 1985,52:141—152.

- [7] 洪亮,朱明. BP神经网络在显示器色空间转换中的应用[J]. 包装工程,2013,34(19):83—86.
HONG Liang,ZHU Ming. Application of BP Neural Network in the Display of the Color Space Transformation[J]. Packaging Engineering,2013,34(19):83—86.
- [8] 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.
- [9] FU J Y,LIANG S G,LI Q S. Prediction of Wind-induced Pressures on a Large Gymnasium Roof Using Artificial Neural Networks[J]. Computers & Structures,2007,85(3/4):179—192.
- [10] CHEN W N,ZHANG J,CHUNG H S H,et al. A Novel Set-based Particle Swarm Optimization Method for Discrete Optimization Problems[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation,2010,14(2):278—300.
- [11] HO Shinn-ying,LIN Hung-sui,DAUB Weei-hung,et al. Orthogonal Particle Swarm Optimization and Its Application to Task Assignment Problems[J]. IEEE Transactions on Systems,Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans,2008,38(2):288—298.
- [12] RAMAZAN C. A Fuzzy Controller Design for Nuclear Research Reactors Using the Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Nuclear Engineering and Design,2011,241(5):1899—1908.
- [13] 马丽丽,王晓红. 基于混合粒子群的多目标数字印刷智能排活系统的优化研究[J]. 包装工程,2011,32(9):15—19.
MA Li-li,WANG Xiao-hong. Research on Optimization of Multi Intelligent Printing Hybrid Particle Swarm Optimization Dispatching System[J]. Packaging Engineering,2011,32(9):15—19.
- [14] LI Xiao-yuan. A New Improved BP Neural Network Algorithm[J]. IEEE,2009(1):19—22.
- [15] 张元标,吕广庆. 基于混合粒子群算法的物流配送路径优化问题研究[J]. 包装工程,2007,28(5):10—12.
ZHANG Yuan-biao,LYU Guang-qing. Study of Logistics Distribution Path Optimization Based on Hybrid Particle Swarm Algorithm[J]. Packaging Engineering,2007,28(5):10—12.
- [16] ZHANG Shi-hai,OU Jin-ping. BP-PSO-based Intelligent Case Retrieval Method for High-rise Structural form Selection[J]. Science China Technological Sciences,2013,56(4):940—944.
- (上接第98页)
- [11] WANG Yi-feng,ZENG Ping,LUO Xue-mei. Color Gamut Mapping Based on Image Fusion[J]. CSSE,2008,369:801—805.
- [12] NAKAUCHI S,IMAMURA M,USUI S. Color Gamut Mapping by Optimizing Perceptual Image Quality[C]//In Proc IS&T and SID's 4th ColorImaging Conf: Color Science, Systems and Applications, Scottsdale,1996:63—66.
- [13] 马娅丽,熊淑华,黑建业. 一种改进的 LOG 边缘算法研究[J]. 计算机技术与发展,2013,23(9):6—9.
MA Ya-li,XIONG Shu-hua,HEI Jian-ye. Research on an Enhanced LOG Edge Algorithm[J]. Computer Technology and Development,2013,23(9):6—9.
- [14] 赵景秀,韩君君,王摇箐,等. 一种改进的 LOG 图像边缘检测方法[J]. 计算技术与自动化,2009,28(3):74—77.
ZHAO Jing-xiu,HAN Jun-jun,WANG Yao-jing,et al. An Improved LOG Image Edge Detection Method[J]. Computing Technology and Automation,2009,28(3):74—77.
- [15] Kodak. TID2008[DB/OL]. [2012-10-28]. <http://r0k.us/graphics/kodak/index.html>.
- [16] 于惠,刘真. 基于混合色适应转换的图像色差模型研究[J]. 包装工程,2013,34(3):21—25.
YU Hui,LIU Zhen. Research of Image Color Difference Model Based on Mixed Chromatic Adaptation Transform[J]. Packaging Engineering,2013,34(3):21—25.
- [17] 许向阳,张旭亮,李博. 基于颜色属性相关性的图像色差公式的研究[J]. 包装工程,2013,34(13):98—101.
XU Xiang-yang,ZHANG Xu-liang,LI Bo. Image Color Difference Formula Based on Correlation of Color Attribute[J]. Packaging Engineering,2013,34(13):98—101.
- [18] 武海丽,黄庆梅,苑馨方,等. 基于 S-CIELAB 和 iCAM 模型的图像颜色质量评价方法的实验研究[J]. 光学学报,2012,30(12):3447—3453.
WU Hai-li,HUANG Qing-mei,YUAN Xin-fang,et al. Experimental Research of Evaluating Methods of Image Quality Based on Models of S-CIELAB and iCAM[J]. Acta Optica Sinica,2012,30(12):3447—3453.
- [19] POIRSON A,WANDELL B. S-CIELAB:A Spatial Extension to the CIEL*a*b* DeltaE Color Difference Metric[DB/OL]. <http://white.stanford.edu/brian/scielab/scielab.html>.
- [20] ZHANG X M,WANDELL B A. A Spatial Extension to CIELAB for Digital Color Image Reproduction[J]. Soc for Info Disp Symp Tech Digest,1996,27:731—734.
- [21] WANG Z,BOVIK A C,SHEIKH A C,et al. Simoncelli, Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2004,13(4):600—612.