

基于分区的 RBF 神经网络颜色空间转换模型的研究

刘容¹, 王强², 刘真¹

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 杭州电子科技大学, 杭州 310014)

摘要: 根据 CMYK 颜色空间的特点, 对其进行了分区处理, 利用 RBF 神经网络最佳逼近性能、全局最优特性和高度非线性转换的优势, 构建了基于 RBF 神经网络每个颜色空间分区转换的正向和反向模型。通过训练样本建模和测试仿真实验, 并对最后的实验数据分析处理, 最终获得了一个较好的神经网络模型, 并且模型的精度非常高。

关键词: 分区; RBF 神经网络; 算法模型; 颜色空间转换

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)11-0085-04

Color Space Conversion Model Based on Partition RBF Neural Networks

LIU Rong¹, WANG Qiang², LIU Zhen¹

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310014, China)

Abstract: The CMYK color space was partitioned according to its characteristics. Forward and inverse models of each color space partition conversion are constructed based on RBF neural network, which has the advantages of optimal approximation, global optimization characteristics, and highly nonlinear transformation. A better neural network model was got by sample model training, simulation experiments, and final experimental data analysis and processing. The model has very high precision.

Key words: partition; RBF neural network; algorithm model; color space conversion

现代数字媒体是一个跨媒体传播过程, 保证图像色彩在不同媒体上准确、高效地再现是当前色彩复制领域中亟待解决的热点问题之一, 而色彩管理是突破和解决这一问题的有效方法, 其中颜色空间转换是色彩管理的核心之一^[1]。颜色空间转换精度直接决定了能否准确描述图像输出设备的色彩特性, 决定了图像最终输出颜色效果, 因此研究颜色空间转换对色彩管理在跨媒体色彩复现具有重要意义。

1 常用颜色空间转换方法及其比较

颜色空间转换一直是研究的一个热点。其常用的方法有模型法(纽介堡方程)、多项式回归法、“3D-LUT”查找表插值法等^[2-4]。模型法采用的是纽介堡

方程, 它是以格拉斯曼颜色混合定律为理论依据, 根据印刷网点模型推导出的印刷网点呈色数学模型, 由于图像输出过程比较复杂, 且会受纸张、油墨等多因素的影响, 故转换精度不高; 多项式回归是一种理想的线性空间模型, 其采样数目以及多项式的阶数选择很难确定, 在中间调和暗调区域, 色差较大; “3D-LUT”查找表插值法是在建立的查找表中用各种插值方法进行拟合, 容易引起非均匀性误差^[5-7]。而 RBF 神经网络有高度非线性转换的优势, 具有最佳逼近性能和全局最优特性, 并且对颜色空间进行分区处理, 构建基于 RBF 神经网络的各个颜色空间转换正向和反向模型, 实验结果表明是可行的, 并且转换的精度较高。

收稿日期: 2013-04-01

基金项目: 国家自然科学基金(41271446); 上海市研究生创新基金项目(JWCXSL1302)

作者简介: 刘容(1988-), 女, 湖北荆门人, 上海理工大学硕士生, 主攻色彩管理。

2 颜色空间分区与 RBF 神经网络模型

2.1 CMYK 颜色空间分区

在 Lab 与 CMYK 颜色空间转换的过程中,由于黑版的影响,一个 Lab 值映射到 CMYK 空间中,可能存在多个值对应的情况,所以可以对 CMYK 空间作分区处理,一方面提高模型的精度,另一方面可以降低甚至消除黑版的影响。CMYK 颜色空间分区的方法很多,根据 K 值进行分区,先将整个区域分成无 $K(K=0)$ 和有 $K(K\neq 0)$ 2 个区,再针对 $K\neq 0$ 分出若干个区,可以采用等间隔、非等间隔或 CMY 值是否为零来划分;也可以根据 L 的取值或饱和度进行划分。在本实验中,针对每一种分区方法,都做了大量的实验。由于颜色空间的转换是非线性的,采用等间隔的方法可能引起在亮调或中间调颜色偏暗,并且容易出现跳跃性误差;而不等间隔分区,很难找到每一区域的分界点,必须通过大量的实验来验证,实验过程繁琐;而其他的分区方法不能克服 K 值的不确定性,且转换的精度都比较低。而采用 CMY 取值是否为零的方法,即将整个空间划分为 3 个子区, $K=0$ 为第 1 类子区;在 $K\neq 0$ 的情况下, CMY 的值至少有一个为零,是第 2 类子区; $CMYK$ 都不为零,为第 3 类子区。在这种分区下,模型的转换精度达到最高。

2.2 RBF 神经网络及其训练模型结构

RBF 神经网络由输入层、隐含层、输出层 3 层组成,它以径向基函数作为隐层单元的基,使隐含层对输入矢量进行变换,将低维输入数据变换到高维空间内,实现在低维空间内的线性不可分在高维空间内线性可分^[8]。其训练模型结构见图 1。

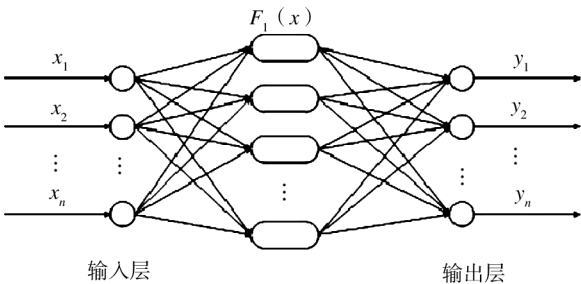


图 1 训练模型结构

Fig. 1 Training model structure

3 实验设计与仿真分析

3.1 实验设计

基于 RBF 颜色空间转换模型的网络训练样本选取的是 EC12002 标准色表,共有 1485 个色块,根据分区的思想,把整个色表分成了 3 个子区,数据选取见表 1。

表 1 各子区内的数据选取

Tab. 1 Data selection in each partition

区间 分区	第 1 类子区 $K=0$	第 2 类子区 $C=0/M=0/Y=0$	第 3 类子区 $CMY\neq 0$
N 值	817	334	334
训练点	617	234	234
测试点	200	100	100

针对这 3 个子区,分别建立 RBF 神经网络模型,模型常用训练函数有 4 种,分别对这 4 种函数进行训练、测试,由于 newrb 函数能更有效地进行网络设计,并且可以自动增加网络的隐含层神经元数目,直到均方差满足精度或者神经元数目达到最大为止的特性,当采用 newrb 作为训练函数时,模型的训练时间最短且精度达到最高^[9]。

训练中参数 spread 的设置最重要,即 RBF 函数的分布系数,值越大,仿真数据与测试数据的逼近程度越好,但网络的逼近误差会比较大;值越小,网络的逼近误差也小,但网络的收敛速度慢,泛化能力弱^[10]。将 spread 值在 5~12 之间以 0.5 为间隔训练网络,分别求出网络的训练均方差及检验样本的均方差,当子区域的取值依次为 6.5,8.0,10.0 时,转换数据的均方差和色差达到最小,即为每个子区的最佳 Spread 值。

3.2 仿真分析

3.2.1 CMYK 到 Lab 颜色空间转换的仿真分析

通过模型数据分析,进行反复训练,第 3 类子区的 CMYK 到 Lab 神经网络模型的精度见图 2, Spread = 10.0, $N_{\max} = 150$,其中 $N_{\max}$ 为神经元个数的最大值。

针对已构建好的 3 个子区的 RBF 神经网络 CMYK 到 LAB 模型,将每个对应的测试样本数据,经过仿真函数 sim() 测试输出,利用经典的 CIE1976 $L^*a^*b^*$ 色差公式将仿真预测 Lab 值与实际对应的 Lab 值求色差^[11]。其色差分布见图 3。

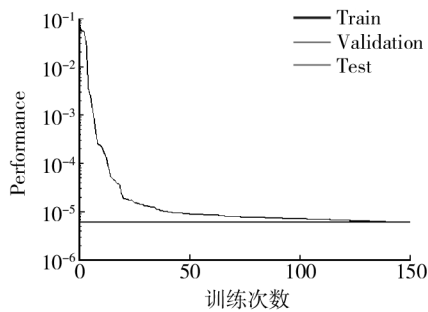


图2 第3类子区模型训练精度

Fig. 2 Model training accuracy of the third partition

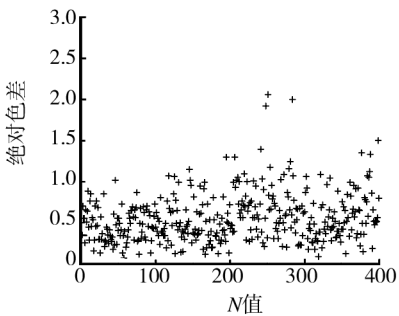


图3 色差分布

Fig. 3 Color difference distribution

由图3可知,所有检验样本色差 ΔE 大部分分布在 0.5 左右,经过数据统计,模型测试平均色差为 0.5572,最小色差为 0.1042,全部色差分布在 2.5 以内。而人眼能分辨的小色差为 $1\Delta E$,印刷中允许的最大色差为 $6\Delta E$,所以此模型的精度较高,结果理想。

3.2.2 Lab 到 CMYK 颜色空间转换的仿真分析

通过模型数据分析,进行反复训练,第2类子区 Lab 到 CMYK 神经网络模型的精度见图4, Spread = 8.0, $N_{\max} = 150$ 。

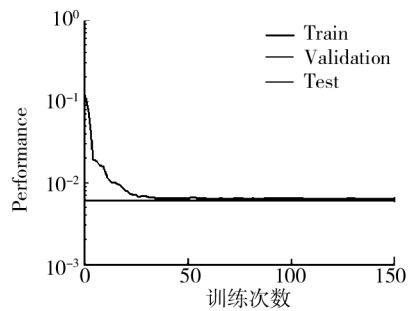


图4 第2类子区模型训练的精度

Fig. 4 Model training accuracy of the second partition

针对已构建好的3个子区的RBP神经网络Lab

到CMYK模型,将各区对应的测试样本数据,经过仿真函数 $\text{sim}()$ 测试输出,测试数据 Lab 利用 $\text{sim}()$ 函数进行仿真,将计 C, M, Y, K 的值与理论值各分量进行拟合和统计处理,各分量的拟合线见图5,各分量的统计数据见表2。

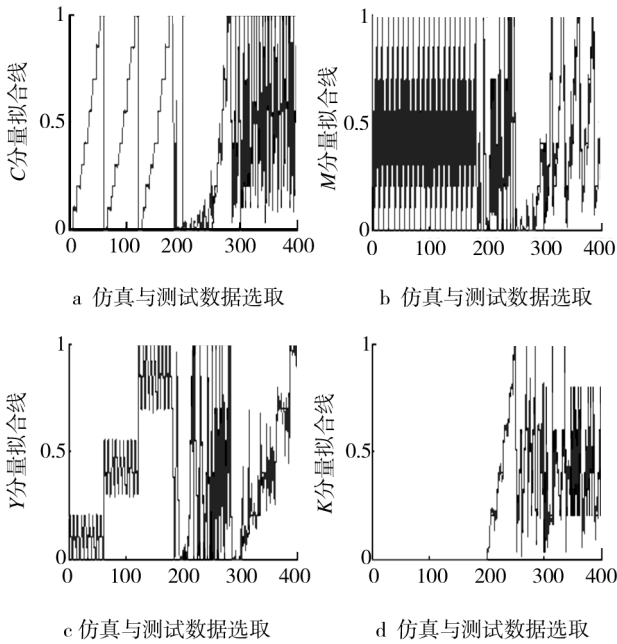


图5 CMYK 各分量拟合线

Fig. 5 Fit line of CMYK components

表2 各色别的精度分析

Tab. 2 Precision analysis of various colors

色别	网点面积率 标准差/%	网点面积率 平均差/%	网点面积率 最小差/%	网点面积率 最大差/%
C	1.75	2.69	0	7.91
M	1.54	1.85	0	7.24
Y	1.58	1.74	0	1.41
K	2.13	2.84	0	8.39

图5可以感知2种颜色的拟合曲线几乎是重叠的,由表2的统计数据可以看出 C, M, Y, K 值的标准差和平均差均在 5% 以内,最大误差在 9% 以内,推测出所建立的 RBF 神经网络 Lab 到 CMYK 色空间转换模型能够比较好地预测出相应的 CMYK 的值。将预测的 CMYK 数据通过已建立的模型转换得到 Lab 值,利用 CIE1976 $L^* a^* b^*$ 色差公式与所对应的 Lab 的值求色差。据统计,大部分色差分布在 1 左右,有 85.83% 分布在 1.5 以内,平均色差为 0.970 55,最小色差为 0.2938。基于分区的 RBF 神经网络颜色空间

转换模型与已有的模型的对比见表 3。

表 3 Lab 到 CMYK 转换模型的色差分布
Tab.3 Color difference distribution of
Lab to CMYK model

转换算法	平均色差
模型法(纽介堡方程)	3.125 0
多项式回归	2.656 3
“3D-LUT”查找表插值法	2.037
优化的 RBF 神经网络模型	0.970 55

由表 3 可知,用 RBF 神经网络作为颜色空间转换模型,其精度相较于其他方法都高,符合颜色空间转换精度的要求。

4 结论

由于分区是基于 K 值,可以根据颜色的饱和度,来判断任意一个 Lab 的值属于哪一区域。利用 RBF 神经网络最佳逼近性能、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正向和反向模型,并提出分区的思想,进行间隔采样,提高了整个网络的泛化能力。通过训练样本建模,测试样本仿真实验,对实验数据分析处理,获得了一个较好的神经网络模型。仿真实验结果表明,RBF 神经网络适合于颜色空间转换,并且转换的精度较高。在本实验中还可以对 C 区黑版所占比例进行进一步的细分,这有待进一步的研究。

参考文献:

[1] 易尧华,刘菊华,高睿遥,等.彩色数字喷墨打印机色彩特性化方法研究[J].中国印刷与包装研究,2012,4(2).
YI Yao-hua,LIU Ju-hua,GAO Rui-yao,et al. Color Digital Inkjet Printer Color Characterization Method Research[J]. China Printing and Packaging,2012,4(2).

[2] MAHY Marc. Calculation of Color Gamuts Based on the Neugebauer Model[J]. Color Research and Application, 1997,22(6):365-374.

[3] BIVOLARSKI Lazar. Complex Color Management Using Op-

timized Nonlinear Three - Dimensional Look-Up Tables [C]//Proceedings of SPIE,Bellingham,USA;SPIE,2008.

[4] ZENG Huan-zhao,TASTL Ingeborg,KOH Kok-wei,et al. A Method to Improve the Invertibility of ICC Profiles that Use Lookup Tables[C]//Proceedings of SPIE-IS \$ T Electronic Imaging,Bellingham,USA;SPIE,2009.

[5] 刘金琨.先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2004.
LIU Jin-kun. Advanced PID Control MATLAB Simulation [M]. Beijing:Electronics Industry Press,2004.

[6] 柴冰华,赵达尊,廖宁放.色貌模型的人工神经网络方法的研究[J].光学技术,2005,31(1):127-129.
CHAI Bing-hua,ZHAO Da-zun,LIAO Ning-fang. Color Appearance Model Based on Artificial Neural Network[J]. Optical Technique,2005,31(1):127-129.

[7] 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.
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.

[8] 张群.基于 RBF 神经网络的颜色空间转换模型[J].包装工程,2009,30(5):71.
ZHANG Qun. Color Space Conversion Model Based on RBF Neural Network[J]. Packaging Engineering,2009,30(5): 71.

[9] 张德丰. MATLAB 神经网络应用设计[M].北京:机械工业出版社,2009.
ZHANG De-feng. MATLAB Neural Network Application and Design[M]. Beijing: Machine Engineering Industry Press, 2009.

[10] 智川.关于颜色空间转换的 RBF 网络动态子空间自动划分辨识方法[J].包装工程,2012,33(1):105.
ZHI Chuan. On Automatic Division and Identification Method of Dynamic Sub-space of RBF Network for Color Space Conversion[J]. Packaging Engineering,2012,33(1):105.

[11] 刘浩学.印刷色彩学[M].北京:中国轻工业出版社,2008.
LIU Hao-xue. Printing Chromatology [M]. Beijing: China Light Industry Press,2008.