

基于神经网络分色算法的补偿模型

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: 神经网络模型在分色算法中具有预测不确定和精度较低的缺点, 在其基础上提出了补偿模型。该模型将神经网络预测 CMYK 的各通道差值拟合成 $L^* a^* b^*$ 多项式的函数, 并对 CMYK 值进行补偿。通过对该模型的实验测试表明, 采用 CMYK 值进行补偿后与原模型相比, 提高了分色算法的精度, 并且其分色精度要高于其他常用的模型。

关键词: 神经网络模型; 分色算法; 补偿模型; 多项式

中图分类号: TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)13-0094-04

Compensation Model of Color Separation Algorithm Based on Neural Network Model

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: A compensation model based on neural network was put forward to solve the prediction uncertainty low precision problems of neural network model in color separation algorithm. The model synthesizes each channel difference of neural network predicting CMYK to $L^* a^* b^*$ polynomial function, and compensates for the CMYK values. Experimental results showed that the new model has improved accuracy of color separation algorithm after CMYK value compensation; separation accuracy of the model is higher than other commonly used models.

Key words: neural network model; color separation algorithm; compensation model; polynomial

图像印刷分色的实现是根据数字图像的色度值 (XYZ 或 $L^* a^* b^*$ 值), 利用分色算法计算得到最终的印刷分色值 (即各分色版的网点面积率值), 因此印刷分色算法是实现精确再现的关键技术^[1]。目前主流的分色算法有模型法 (纽阶堡方程)、多项式回归法、“3D-LUT”查找表插值法、神经网络算法。参考文献 [2-3] 提出了基于神经网络的分色方案, 其中文献 [2] 根据神经网络的映射特点, 首次成功地实现了从 Lab 到 CMYK 色空间的转换; 文献 [3] 提出了基于饱和度优先的神经网络颜色空间转换模型, 针对每个色块的饱和度创建训练样本集, 并选择最佳的训练函数和训练参数建立分色模型。LI Xiao-yuan 从神经网络结构的角度出发, 提出了一种改进的神经网络算法^[4]。

由于神经网络算法的不确定性, 当低维向高维映射时, 模型的精度不可能达到很高。本文提出一种补偿模型, 即将神经网络模型预测 CMYK 的各通道差值拟合成 $L^* a^* b^*$ 值的多项式函数, 并对 CMYK 值进行补偿, 提高了分色算法的精度。

1 神经网络模型

RBF 网络是 Moody 和 Darken 提出的一种特殊的具有单隐层的 3 层前馈网络, 应用于模式识别、非线性函数逼近等领域^[5]。SHOJI Tominaga^[1] 首次将其应用到分色算法中, 并且转换的精度比较高。RBF 和 BP 网络是目前常用在颜色空间转换的 2 种神经网络, 由于 RBF 网络在逼近能力、分类能力和学习速度

收稿日期: 2013-05-05

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。

等方面均优于 BP 网络,所以选择 RBF 神经网络作为基础预测模型。网络中训练函数和 spread 值的选取非常重要,其训练模型结构见图 1。

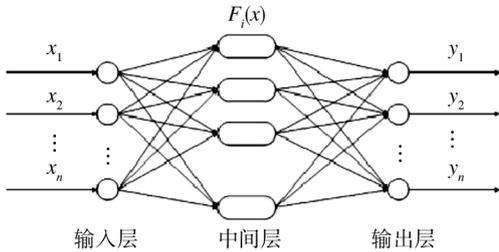


图 1 训练模型结构

Fig. 1 Training model structure

2 补偿模型

2.1 模型原理

补偿模型是在神经网络的基础上计算测试样本理论 $CMYK$ 值与网络模型预测 $CMYK$ 值之差,针对 $CMYK$ 各通道的差值与其对应的 $L^*a^*b^*$ 值之间的函数关系采用多项式进行拟合,从而可以对每一个测试样本得到其神经网络的预测差值。补偿模型最终预测 $C'M'Y'K'$ 的值为神经网络模型预测 $CMYK$ 值与预测差值之和。式(1)是以 C 通道为例的多项式回归方程^[6],其项数分别为 7,10,11,17,20。

$$\Delta C_1 = nb_0 + \sum_1^n Lb_1 + \sum_1^n ab_2 + \sum_1^n bb_3 + \sum_1^n L^2b_4 + \sum_1^n a^2b_5 + \sum_1^n b^2b_6$$

$$\Delta C_2 = nb_0 + \sum_1^n Lb_1 + \sum_1^n ab_2 + \sum_1^n bb_3 + \sum_1^n L^2b_4 + \sum_1^n a^2b_5 + \sum_1^n b^2b_6 + \sum_1^n Lab_7 + \sum_1^n Lbb_8 + \sum_1^n abb_9$$

$$\Delta C_3 = nb_0 + \sum_1^n Lb_1 + \sum_1^n ab_2 + \sum_1^n bb_3 + \sum_1^n L^2b_4 + \sum_1^n a^2b_5 + \sum_1^n b^2b_6 + \sum_1^n Lab_7 + \sum_1^n Lbb_8 + \sum_1^n abb_9 + \sum_1^n Labb_{10}$$

$$\Delta C_4 = nb_0 + \sum_1^n Lb_1 + \sum_1^n ab_2 + \sum_1^n bb_3 + \sum_1^n L^2b_4 + \sum_1^n a^2b_5 + \sum_1^n b^2b_6 + \sum_1^n Lab_7 + \sum_1^n Lbb_8 + \sum_1^n abb_9 + \sum_1^n Labb_{10} + \sum_1^n L^2ab_{11} + \sum_1^n a^2Lb_{12} + \sum_1^n b^2Lb_{13} +$$

$$\sum_1^n L^2bb_{14} + \sum_1^n a^2bb_{15} + \sum_1^n b^2ab_{16} + \sum_1^n L^3b_4 + \sum_1^n a^3b_5 + \sum_1^n b^3b_6 \quad (1)$$

以 7 项多项式为例,通过变量转换将非线性多项式转换为多元线性回归方程,见式(2),简化多项式的求解:

$$\Delta \hat{c}_1 = nb_0 + m_1b_1 + m_2b_2 + m_3b_3 + m_4b_4 + m_5b_5 + m_6b_6 \quad (2)$$

其中: $\Delta \hat{c}_1$ 为 C 通道理论值与神经网络预测值差的回归估计值。通过多元线性回归分析求出 $b_0, b_1, b_2, \dots, b_6$ 的最小二乘估计值 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_6$,最终得到色度值向色度差值的数学转换模型,见式(3),式(4)表示源色空间到目标色空间的转换关系。

$$\Delta \hat{c}_1 = \beta_0 + \beta_1L + \beta_2a + \beta_3b + \beta_4L^2 + \beta_5a^2 + \beta_6b^2 \quad (3)$$

$$C' = C + \Delta C_1; M' = M + \Delta M_1; Y' = Y + \Delta Y_1; K' = K + \Delta K_1 \quad (4)$$

2.2 模型项数的确定

分色模型由 2 部分组成,即神经网络模型和补偿模型。而补偿模型根据项数不同有 5 类。测试样本的模型测试过程见图 2。

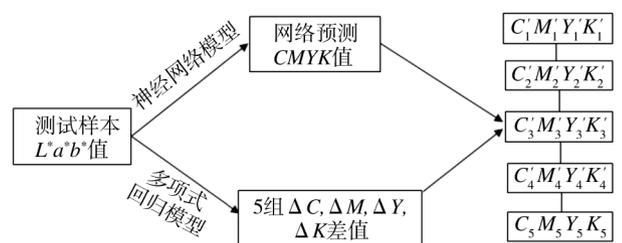


图 2 模型测试过程

Fig. 2 Model test process

由图 2 可以看出,最终得到 5 组 $C'M'Y'K'$ 值,理论上随着多项式项数的增加,模型的分色精确度会提高,但精确度提高的幅度随着项数的增加逐渐变小,并且计算量增大,过高的项数还可能引起震荡。最终

通过分析比较模型分色的数据以确定多项式的项数。

3 实验

3.1 设备及材料

打印输出软件和设备: EFI 软件; EPSON Stylus Pro7800 (24inch) HT(CMYKmkk); 液晶显示器一台。

纸张: EasiColor EP520H 顶级半光面打样纸。

颜色测量设备: gretagmacbeth iliO。

3.2 过程及结果分析

实验采用的样本集是 ECI2002 标准色靶, 共有 $L^*a^*b^*$ 与 CMYK 对应的 1485 组样本数据, 将这组数据进行间隔取样分成 3 部分, 见表 1。

表 1 数据选取

Tab.1 Data selection

数据量	第 1 类	第 2 类	第 3 类
N 值	800	400	285
功能	神经网络的 训练样本	网络的测试样本和 补偿模型建模样本	补偿模型 测试样本

第 1 步。RBF 神经网络有 newrb, newrbe, newpnn, newgrnn 4 种创建函数, 由于 newrb 函数能更有效进行网络设计, 并且可以自动增加网络的隐含层神经元数目^[7-8], 当采用 newrb 函数, spread 值为 1 时, 将第一类样本数据代入网络中进行训练时, 模型的训练时间最短且精度达到最高, 见图 3。

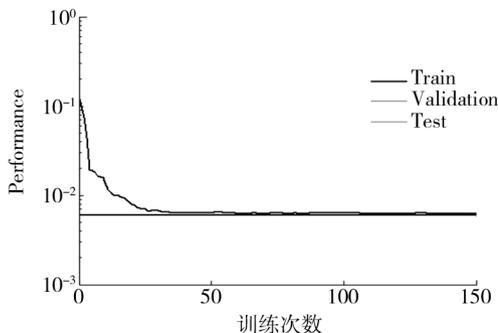


图 3 神经网络模型训练精度

Fig. 3 Training accuracy of the neural network model

第 2 步。将第 2 类样本数据代入神经网络中, 求出网络模型预测 CMYK 与样本理论 CMYK 值之差, 针对 CMYK 各通道的差值与其对应的 $L^*a^*b^*$ 值之间的函数关系, 采用多项式进行拟合, 分别计算出 7, 10, 11, 17, 20 项多项式的系数, 即补偿模型 1, 2, 3, 4, 5。

第 3 步。将第 3 类数据代入建立好的模型中, 就可以得到 $L^*a^*b^*$ 与之对应的 $C^*M^*Y^*K^*$ 的值, 以 C 通道为例的理论差值、补偿模型 1, 3, 5 见图 4。从图 4

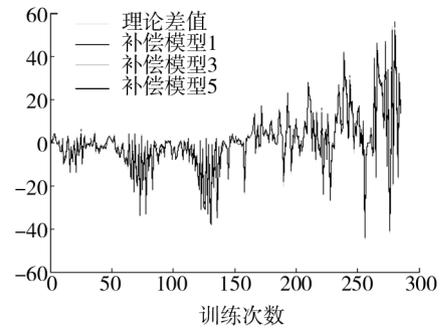


图 4 C 通道差值曲线

Fig. 4 C channel difference curve

可以看出, 理论差值的曲线与补偿模型的曲线大致是吻合的, 这说明神经网络模型通过补偿后能完善模型当中的不足, 使分色后的数据更加精准。

4 实验结果及分析

4.1 绝对误差分析

针对已构建好的模型, 将第 3 类测试样本数据, 经过补偿模型之后输出 $C^*M^*Y^*K^*$ 值, 图 5 表示神经网络模型、补偿模型 1, 3, 5 中 C 通道的拟合输出, 表 2

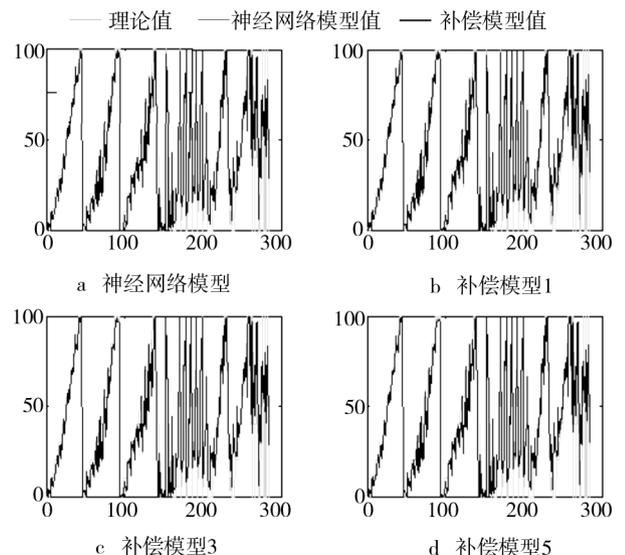


图 5 C 通道拟合曲线

Fig. 5 C channel curve fitting

为神经网络模型、补偿模型 1, 2, 3, 4, 5 各别网点百

表 2 各色系精度分析

Tab.2 Precision analysis of various colors

模型	C 值			M 值			Y 值			K 值		
	方差	均值	最大值	方差	均值	最大值	方差	均值	最大值	方差	均值	最大值
神经网络模型	2.27	8.97	13.58	2.18	7.09	13.62	2.23	7.07	13.35	2.43	10.51	14.56
补偿模型 1	1.83	6.91	10.57	1.79	5.13	10.62	1.76	5.08	10.49	1.98	7.47	11.53
补偿模型 2	1.55	5.77	8.56	1.54	4.08	8.62	1.54	4.01	8.49	1.74	5.34	9.53
补偿模型 3	1.35	3.76	7.56	1.28	3.08	7.62	1.26	3.14	7.48	1.62	4.32	8.53
补偿模型 4	1.33	3.67	7.53	1.27	3.06	7.59	1.25	3.13	7.46	1.61	4.30	8.49
补偿模型 5	1.32	3.65	7.48	1.25	3.06	7.59	1.25	3.13	7.45	1.61	4.29	8.47

分比的方差、均值、最大值。

从图 5 可以看出,补偿模型的 C 值拟合曲线与理论值的重合度比神经网络模型的高,且神经网络模型的方差、均值、最大值比补偿模型均大,说明补偿模型的分色精度要高于神经网络模型;随着多项式项数的增加,重合度逐渐增加,方差、均值、最大值逐渐减小,说明补偿模型随着项数的增加,分色精度越高;但项数达到 11 时,变化的趋势没有变,但幅度很小,并且随着项数的增加,计算量增加,还有可能引起震荡;说明最佳模型是补偿模型 3。

4.2 色差分析

将分色得到的数据 $C^*M^*Y^*K^*$ 作为打印机的驱动值,共有 285 个色块。用测量仪器分别测出 6 组不同分色模型下的色块 $L^*a^*b^*$ 值,与理论 $L^*a^*b^*$ 值求色差^[9]。补偿模型与常用分色模型比较见表 3。

表 3 分色模型色差分布

Tab.3 Color difference distribution of color separation models

分色算法	平均色差
模型法(纽介堡方程)	3.13
多项式回归	3.58
“3D-LUT”查找表插值法	3.04
神经网络模型	3.73
补偿模型 1-5	2.61, 1.73, 1.48, 1.46, 1.45

从表 3 可以看出,补偿模型比常用的分色算法的精度要高,随着补偿模型项数的增加,精度越高,但在补偿模型 3 之后随着项数的增加,虽然精度有所提高,但变化不大,所以模型 3 为最佳模型。

5 结论

提出了一种针对颜色空间转换的新模型即补偿模型,对神经网络模型预测不确定和精度较低进行补

偿处理,提高模型的整体性和分色精度。通过测试结果表明,补偿模型能有效提高模型的分色精度,与其他常用的色空间转换模型相比其转换的效果最好。而且随着项数的增加,补偿模型的精度越高,但当项数为 11 之后,虽然精度有所提高,但是幅度很小,并且计算复杂,还有可能引起震荡,所以补偿模型 3 为最佳模型。实验还可以对 CMYK 空间进行分区处理之后再行补偿,这有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 朱明,刘真. 基于分区纽介堡方程的 6 色印刷分色模型研究[J]. 光学学报,2011,31(7):1-10.
ZHU Ming, LIU Zhen. Research on Six-color Separation Model Based on Subarca Neugebauer Equations [J]. Acta Optica Sinica,2011,31(7):1-10.
- [2] SHOJI Tominaga. Color Conversion Using Neural Networks [J]. SPIE,1998,66:33.
- [3] 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):109-112.
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):109-112.
- [4] LI Xiao-yuan. A New Improved BP Neural Network Algorithm [J]. IEEE,2009(1):19-22.
- [5] 张群. 基于 RBF 神经网络的色空间转换模型[J]. 包装工程,2009,30(5):71-73.
ZHANG Qun. Color Space Conversion Model Based on RBF Neural Network [J]. Packaging Engineering,2009,30(5):71-73.
- [6] LEE C, LEE E, et al. Color Space Conversion Via Gamut-based Color Samples of Printer [J]. Journal of Imaging Science and Technology,2001,45(5):427-435.



图8 控制软件界面

Fig. 8 Interface of controlling software

括系统参数设置、加工控制、文件管理、图形显示、激光控制等。

4 结论

介绍的 PC+PMAC 运动控制卡+单片机的激光制版机,采用了动态曝光的工作方式,定位精度优于 $\pm 0.5 \mu\text{m}$,使光刻的速度提高了 10 倍以上,制作的防伪商标尺寸可达到 $1000 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$,解决了大尺寸激光全息防伪包装材料制作难的问题,有效提高了激光防伪包装材料制作的技术水平。该激光制版机已为国内很多著名产品制作了防伪包装材料,并销往多个国家。

参考文献:

- [1] 王莉,龚文才. 包装印刷对环境的污染及治理措施[J]. 包装工程,2007,28(11):201-204.
WANG Li, GONG Wen-cai. Environmental Pollutions of Package Printing and Solving Countermeasures [J]. Packaging Engineering,2007,28(11):201-204.
- [2] 白雪梅,安志勇,宋亮. 基于 PMAC 卡的控制算法研究[J]. 微计算机信息,2009(5):50-52.
- [3] BAI Xue-mei, AN Zhi-yong, SONG Liang. Research on the Control Algorithm Based on the PMAC [J]. Microcomputer Information,2009(5):50-52.
- [4] 相恒富,张立军. 激光直写聚合物微流芯片精密实验台设计[J]. 制造技术与机床,2009(5):70-73.
XIANG Heng-fu, ZHANG Li-jun. Design of Precision Experimental Table on Laser Direct Writing Grooving Polymer-Based Micro-fluidic Chips [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool,2009(5):70-73.
- [5] 张山,谭久彬,网雷,等. 直角坐标激光直写的动态曝光模型[J]. 光学精密工程,2008(8):48-52.
ZHANG Shan, TAN Jiu-bin, WANG Lei, et al. Dynamic Exposure Model of Laser Direct Writing in Cartesian Coordinate [J]. Optics and Precision Engineering,2008(8):48-52.
- [6] 田会峰,刘文杰,董里. PMAC 运动控制器在光刻机控制系统中的应用[J]. 自动化与仪表,2008(2):55-59.
TIAN Hui-feng, LIU Wen-jie, DONG Li. Application of PMAC Motion Controller on Laser Character Machine Control System [J]. Automation & Instrumentation,2008(2):55-59.
- [7] 虞佳阳,丁国清. 基于 PMAC 卡和直线电机的减震器测试系统研究[J]. 现代电子技术,2011,(1):28-31.
YU Jia-yang, DING Guo-qing. Research on Shock Absorber Test System Based on PMAC and Linear Motor [J]. Foreign Electronic Measurement Technology,2011(1):28-31.
- [8] 李长林. Visual C++数据采集与串口通信测控应用实战 [M]. 北京:人民邮电出版社,2010:169-178.
LI Chang-lin. Visual C++ Data Acquisition and Serial Communication and Control Applications Combat [M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press,2010:169-178.
- [9] 龚建伟,熊光明. Visual C++/Turbo C 串口通信编程实践 [M]. 北京:电子工业出版社,2007:63-73.
GONG Jian-wei, XIONG Guang-min. Visual C++/Turbo C Serial Communication Programming Practice [M]. Beijing: Electronics Industry Press,2007:63-73.

(上接第 97 页)

- [7] 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.
- [8] 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.

- [9] 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.
- [9] 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.