# 基于 BP 神经网络的颜色测量仪器台间差自适应修正模型

丁桂芝, 王晓红, 刘太庆, 张 茜

(上海理工大学,上海 200093)

摘要:依据明度值对色块进行分区处理,按各区占总样本的百分比选取训练样本,采用 BP 神经网络模型进行 X-Rite 530 与 SP60 测量数据的拟合。仿真结果及主观评价 Z 得分显示,基于 BP 神经网络的 X-Rite 530 与 SP60 台间差自适应修正模型优于三维空间拟合修正方法。提出的自适应修正模型为实现由低精度到高精度 颜色测量仪器色度值的转换提供了理论依据,提高了印刷质量检测精度。

关键词:台间差; BP 神经网络; 自适应修正

中图分类号: TS801.3; TS807 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2013)23-0102-05

# Adaptive Correction Model of Difference between Color Measuring Instruments Based on Neural Network

DING Gui-zhi, WANG Xiao-hong, LIU Tai-qing, ZHANG Xi

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract**: The measured patches were partitioned into different parts according to the lightness value. The training samples were selected according to the districts' percentage of total samples. BP neural network model was used to fit X-Rite 530's measured data with the SP60's. The simulation results and the subjective evaluation Z-score showed that BP neural network adaptive correction for the difference between X-Rite 530 and SP60 is better than 3D fitting algorithm. The purpose was to provide theoretical basis for realizing prediction of low-precision to high-precision color measurement instrument chroma values, and improve the accuracy of printing quality detection.

Key words: instruments difference; BP neural network; adaptive correction

对于印刷质量而言,颜色的正确测量至关重要。 拥有一定的测量工具是印刷企业施行印刷质量管理 与控制标准化的必要条件。针对不同材质的承印材 料(如吸收性和非吸收性材料),不同工作原理的颜色 测量仪器对其测量精度不同。在印刷质量检测过程 中就会出现由于颜色测量仪器精度不高,造成颜色测 量不准而无法真实反映印刷品质量的情况。对印刷 企业以及客户来说,在印刷质量检测方面实现颜色测 量值由低精度向高精度的转换,具有重要的应用价 值。

目前,对颜色测量仪器台间差修正的研究主要基于三维空间拟合模型<sup>[1]</sup>,该模型在 CIE L\*a\*b\*色空间下,将不同测量仪器所测色块的 L\*,a\*,b\*值分别进行拟合,从而达到不同测量仪器台间差软修正的目

的<sup>[1]</sup>。上述模型未将色块与色块之间的明度关系考虑在内,最终的拟合效果不能再现原色块的明度等级关系。笔者通过理论和实验分析,提出先将测量色块按照明度值分区,再利用 BP 神经网络在处理非线性数据转换上的优势,建立基于 BP 神经网络的 X-Rite 530 与 SP60 积分球台间差自适应修正模型。仿真结果及主观评价 Z 得分<sup>[2]</sup>显示,文中提出的自适应修正模型优于三维空间拟合修正方法。

## 1 BP 神经网络模型

BP 神经网络是一种多层前馈神经网络,具有强大的容错能力和鲁棒性,由输入层、隐含层、输出层 3部分组成,见图1,常采用S型 Sigmoid 函数作为其神

#### 收稿日期: 2013-07-24

基金项目:上海市研究生创新基金项目(JWCXSL1302)

作者简介:丁桂芝(1989-),女,山东潍坊人,上海理工大学硕士生,主攻色彩管理与印刷质量检测与控制。



图 1 BP 神经网络结构 Fig. 1 BP neural network structure

经元变换函数,输出0到1之间的连续量,通过它可 以实现从输入到输出任意的非线性映射。Sigmoid 函 数表达式为:

$$y = f(\sigma) = \frac{1}{1 + e^{-\sigma}} \tag{1}$$

影响 BP 的颜色转换模型建立的因素包括:网络训练样本选取、隐含层层数及节点数确定和训练函数选择3个方面<sup>[3]</sup>。

#### 1.1 样本选取

网络训练样本选取 TC3.5 色表共432 个色块(该 色表的表色性较好, 且色块大小适合点测), 分别用 X-Rite 530 和 SP60 积分球测量色块得到2 组 *L\**, *a\**, *b\**数据。通常把明度值在9-7 级的层次称为 亮调, 6-4 级为中间调, 3-1 级为暗调。又因为在6-4 级处样本数量较大, 不利于提高网络的转换精度和训 练速度, 因此, 将 6-4 级层次再分为4, 5, 6 三级。为 保证训练样本的准确性、正确性和均衡性, 将样本按 照 X-Rite 530 测量明度值划分为上述5 个等级分区, 其中 X-Rite 530 测量值为源样本, SP60 测量值为对应 的目标样本<sup>[4]</sup>。然后, 依据各分区占总样本的百分比 选取训练样本和测试样本, 各分区样本选取公式为:

$$M = \frac{n}{N} \times n \tag{2}$$

$$m = n - M$$

式中:N为总样本数;n为各分区总样本数;M为 各分区训练样本数;m为各分区测试样本数。最终选 取训练样本总数为332个,测试样本总数为100个, 各分区样本选取数据见表1。

针对不同的分区,分别建立 BP 神经网络模型,这 有利于保持色块之间的明度等级关系,提高转换精度 和训练速度。常用的训练函数有 trainlm, trainscg, traingd, traincgd,分别对这 4 种函数进行训练、测试, 实验结果表明在暗调区 trainlm 函数训练后获得对应

表1 各分区内数据选取

Tab.1 Data selection in each partition

明度值 L 分区	训练样本数	测试样本数	样本总数
0 <i>≤L</i> <40	58	20	78
$40 \le L < 50$	130	38	168
$50 \leq L < 60$	64	18	82
$60 \leq L < 70$	40	13	53
$70 \leq L \leq 100$	40	11	51
总计	332	100	432

的 *L*\**a*\**b*\*转换精度最高,并且训练时间短;在中间 调、亮调区 trainseg 函数训练后获得对应的 *L*\**a*\**b*\* 转换精度最高,训练时间中等。文中针对不同的分 区,分别选择 trainlm,trainseg 为网络模型训练函数。

## 1.2 隐含层层数及节点数确定

目前,在构建网络时,对于神经网络的隐含层的 个数,并没有明确的规律和公式。根据已有理论证 明:具有偏差和至少一个S型隐含层加上一个线性输 出层的网络,可以逼近任何有理函数,即含有一个隐 含层的三层 BP 网络能够实现非线性函数的逼 近<sup>[5-6]</sup>。因此文中基于三层网络模型,增加隐含层节 点数,当隐含层节点的增加对数据的拟合没有太大改 善时,则进一步考虑增加网络的层数来进一步改善。

对于节点数的确定采用经验公式确定初始值:

$$n = \sqrt{n_{\rm i} + n_{\rm o}} + a \tag{4}$$

其中:n为隐含层节点个数;n;为输入的节点数; n。为输出的节点数;a为常数,其区间为[3,13]。

## 2 实验

(3)

### 2.1 材料及仪器

实验材料:UV 油墨,非吸收性纸张(SGP80)。

实验仪器:灯箱 CMB-3052/230, Mimaki 数字喷墨 打印机(打印机设置为 16 pass, head gap 为 1.5 mm), SP60 积分球, X-Rite530, 白色衬底。

实验环境:温度为(20~25)℃;相对湿度为60%~65%。

### 2.2 实验过程

第1步,确定印刷样张符合人眼视觉特性。

 1) 对打印机进行校准后,打印测试样张(包括 G7 工业测试的灰平衡导表(Grayfinder),TAC Target 测试表,CMYKRGB 六色实地色块,CMYK 灰梯尺, 25%, 50%, 75% 四 色 色 块 及 25C19M19Y, 50C40M40Y,75C66M66Y 色块),用于确定打印机最 大墨量。确定输出的最大墨量,可以实现用尽可能小 的墨量获得尽可能大的颜色密度,从而准确表现油墨 与承印材料之间的关系,提高颜色测量精度<sup>[7]</sup>。

2) 打印主观评价测试样张(包含亮、中、暗6幅 ISO 300标准测试图),进行主观评价。实验中标准观 察者10名,观察光源为D50/2°(on 42 hrs/RELAMP 2458 hrs),观测条件45°/垂直,设定样张视觉效果最 佳时的UV 喷墨打印机设置。

第2步,在上述条件下打印测试样张(包括TC3.5 色表,CMYKRGB六色实地色块,CMYK灰梯尺,25%, 50%,75%四色色块及25C19M19Y,50C40M40Y, 75C66M66Y色块),分别用X-Rite 530和SP60积分球 测量TC3.5色表,获取2组L\*,a\*,b\*值。

第3步,对测量获得的2组数据按照明度值L进行分区,针对不同分区分别建立BP神经网络模型,计算预测值与SP60实际测量值之间的色差,色差计算公式采用DE2000。

最后,与基于三维空间拟合算法的台间差软修正 方法进行主、客观比较分析。

# 3 实验结果仿真与分析

将测试样本通过已构建的 L\*a\*b\*到 L\*a\*b\*的 BP 神经网络模型仿真输出,获取该模型下输出的 L\*a\*b\*颜色分量信息<sup>[8]</sup>。仿真预测 L\*a\*b\*值与实 际对应的 L\*a\*b\*值拟合结果及仿真测试色差分布 分别见图 2—11。

 0≤L<40 分区。函数调用与参数设置为:net= newff(minmax(inputn),[12,14,14,14,12,9,3], { 'tansig', 'tansig',

2) 40≤L<50 分区。函数调用与参数设置为:net= newff(minmax(inputn),[12,14,14,14,12,3],'tansig', 'tansig', 'tansig', 'tansig', 'purelin'}, 'trainscg'),见图 4-5。

3) 50 ≤ L<60 分区。函数调用与参数设置为net = newff(minmax(inputn),[4,15,14, 15,16,9,7,4,3], 'tansig', 'tans

4) 60 ≤ L<70 分区。函数调用与参数设置为net=





Fig. 3 Color difference distribution of tested specimen



图 4 仿真测试 L\* a\* b\* 各分量输出

Fig. 4  $L^* a^* b^*$  components output of simulation test

newff(minmax(inputn),[11,9,3],{´tansig´, ´tansig´, `purelin´}, `trainscg´),见图 8–9。

5) 70 ≤ *L* ≤ 100 分区。函数调用与参数设置为 net = newff(minmax(inputn), [9,14,14,14,14,9,3],



Fig. 5 Color difference distribution of tested specimen



图6 仿真测试 L\*a\*b\* 各分量输出

Fig. 6  $L^* a^* b^*$  components output of simulation test



Fig. 7 Color difference distribution of tested specimen

{ tansig´, ´tansig´, `tansig´, `tansig´, `tansig´, `tansig´, `tansig´, `purelin´}, `trainscg´),见图 10-11。

由图 2-11 可知,对输入的 L\*a\*b\*值,各分区建 立的网络模型能够较好地预测相应的 L\*a\*b\*值。 经统计可知,色差在3.5以内的比例为 89%以上,基本 符合人眼视觉对颜色色差的要求,转换结果说明了网 络模型的有效性。建立的 BP 网络转换模型与三维空





X-Rite 530 LAB测量值到SP60 LAB测量值检验样本色差分布



#### 图 9 测试样本色差分布

Fig. 9 Color difference distribution of tested specimen



图 10 仿真测试 L<sup>\*</sup> a<sup>\*</sup> b<sup>\*</sup> 各分量输出



间拟合模型色差比较,见表2。表2中的总平均色差 表明,文中提出的基于 BP 神经网络的自适应转换模 型的 L\*a\*b\*值的预测精度明显高于三维空间拟合 算法,并且色差值在人眼容忍色差范围内。为验证建



Fig. 11 Color difference distribution of tested specimen

立的各分区网络模型的稳定性,每个分区重新设计2 个色块进行多次测试并计算测试后预测数据与标准 数据的色差的标准差。从图12可以看出,标准差大 小在误差允许范围内,说明文中建立的各分区网络模 型具有良好的稳定性。

表 2 BP 网络自适应模型与三维空间拟合分析比较 Tab. 2 Comparison between BP adaptive model and three-dimensional fitting

转换模型	BP 网络自适应模型		三维空间拟合	
	平均 DE <sub>00</sub>	最大 DE <sub>00</sub>	平均 DE <sub>00</sub>	最大 DE <sub>00</sub>
0 <i>≤L</i> <40	1.9415	3. 7253	3.9560	9. 3859
$40 \leq L < 50$	2.3194	4.8630	4.0032	9.6225
$50 \leq L < 60$	1.8276	3.7040	3. 1384	9.0571
$60 \leq L < 70$	3. 2094	1.8016	6. 4774	8.2635
$70 \leq L \leq 100$	1.7387	4.6997	1.2906	2.4001
总平均	2.2073	3.6456	3.7731	7.7458



Fig. 12 Stability test of network model

6) 将 2 种修正方法得到的测试样本的输出数据 以及 SP60 的实际测量数据分别生成色块,并按各分 区占总样本的百分比选择主观评价样本数量,样本总 数为 31 个。因为屏幕软打样可以直接在显示器上仿 真显示印刷输出效果,灵活方便、再现直观,所以选择 在标准环境下,在同一台 EIZO 显示器上对 31 组色块 进行配对比较分析,其中标准图为 SP60 测量数据生 成的色块,标准观察者 10 名。对主观评价结果取平 均值,计算 2 种修正模型的 Z 得分。由图 13 可知,基



于 BP 神经网络的自适应模型的 Z 得分要大于三维 空间拟合,并且在 95% 的置信区间内,两者的 Z 得分 无重合,这表明基于 BP 神经网络的自适应模型仿真 数据比三维空间拟合更接近 SP60 测量数据,修正效 果更好。

# 4 结语

基于 BP 神经网络的 X-Rite530 与 SP60 台间差自 适应修正模型针对测量色块的不同明度值范围,采取 不同的网络模型进行转换,保持了转换后色块之间的 明度关系,提高了转换精度和训练速度。仿真结果与 主观评价结果显示,该方法转换精度均优于三维空间 拟合台间差修正模型。实验中未对非吸收性纸张的 呈色特性进行深入的研究分析,可以在今后的研究工 作中加以改进。

#### 参考文献:

- [1] 卢智平,刘真,白韬韬,等. SpectroEye 与 i1Pro 台间差软 修正方法研究[J].包装工程,2013,34(11):89-92.
  LU Zhi-ping, LIU Zhen, BAI Tao-tao, et al. Soft Correction Method of Error between Instruments Using SpectroEye and i1Pro[J]. Packaging Engineering,2013,34(11):89-92.
- [2] MARIUS P. Image Quality Metrics for The Evaluation of Printing Workflows [D]. Oslo Norway: University of Oslo, 2011;27-98.
- [3] 唐万梅. BP 神经网络网络结构优化问题的研究[J]. 系 统工程理论与实践,2005(10):97-102.

(下转第120页)

包装图像进行处理的方法仍需进一步研究,以提高系统的适应性和加工的精度。

#### 参考文献:

[1] 刘玮,郁舒兰,丁伟.真空吸塑机及其性能实验研究[J].
 包装工程,2011,32(18):34-37.

LIU Wei, YU Shu-lan, DING Wei. Research on the Vacuum Forming Machine and Its Performance Experiment [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(18):34-37.

[2] 徐世垣.激光模切-迎来模切工艺新时代[J].印刷技术, 2011(4):15-16.

XU Shi-yuan. Laser Die-cutting-usher in a New Era of Diecutting Process[J]. Printing Technology, 2011(4):15–16.

[3] 邝贤锋. 激光技术在塑料薄膜加工中的应用[J]. 包装工程,2006,27(2):15-16.

KUANG Xian-feng. Application of Laser Technology in Polymer Film Processing[J]. Packaging Engineering, 2006, 27 (2):15-16.

- [4] FATIMAH S, ISHAK M, AQIDA S N. CO<sub>2</sub> Laser Cutting of Glass Fiber Reinforce Polymer Composite[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2012(36): 12-33.
- [5] 李妮妮,陈章位,陈世泽.基于局部搜索和遗传算法的激光切割路径优化[J].计算机工程与应用,2010,46(2):

234-239.

LI Ni-ni, CHEN Zhang-wei, CHEN Shi-ze. Optimization of Laser Cutting Path Based on Local Search and Genetic Algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(2):234-239.

- [6] 冯珂,朱敏,钟煜,等. 一种改进的 Canny 边缘检测 AGT 算法[J]. 计算机应用与软件,2012,29(3):265-300.
  FENG Ke,ZHU Min,ZHONG Yu, et al. An Improved Canny Edge Detection Agt Algorithm [J]. Computer Applications and Software,2012,29(3):265-300.
- [7] 阮亮中,张利,吴超.一种新的 TSP 问题环路构造算法及 其在激光雕刻机路径控制中的应用[J].中国图象图形 学报,2007,12(6):1114-1118.
  RUAN Liang-zhong, ZHANG Li, WU Chao. A New Tour Construction Algorism and Its Application in Laser Carving Path Control[J]. Journal of Image and Graphics,2007,12
- (6):1114-1118.
  [8] 刘会霞,王霄,蔡兰. 钣金件数控激光切割割嘴路径的优化[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2004,16(5):660-665.

LIU Hui-xia, WANG Xiao, CAI Lan. Torch Path Optimization for NC Laser Cutting of Sheet Metal Part[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16 (5):660-665.

(上接第106页)

TANG Wan-mei. The Study of the Optimal Structure of BP Neural Network [J]. Systems Engineering-Theory & Practice,2005(10):97-102.

- [4] 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):117-120.
  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): 117-120.
- [5] DING Shi-fei, SU Chun-yang. Application of Optimizing BP Neural Networks Algorithm Based on Genetic Algorithm [C]//Control Conference (CCC), 2010.
- [6] CHENG H D, CAI Xiao-peng, MIN Rui. A Novel Approach

to Color Normalization Using Neural Network [J]. Neural Computer & Application, 2009(18):237-247.

- [7] 吴玉超.印刷质量控制方法之色度计的原理及应用[J]. 印刷质量与标准化,2010(8):13-14.
  WU Yu-chao. Principle and Application of Colorimeter for Printing Quality Control Methods [J]. Printing Quality & Standardization,2010(8):13-14.
- [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):116-118.
  LI Li-xia, ZHANG Yi-xin. Neural Network Application in the Color Space Conversion [J]. Packaging Engineering, 2011,32(9):116-118.

120