

基于神经网络的 $L^*a^*b^*$ -CMYK 色彩空间转换算法的研究

高 军, 范增华

(山东理工大学, 淄博 255049)

摘要: 针对 $L^*a^*b^*$ 值-CMYK 值转换的非线性特性, 提出了一种基于改进 BP 神经网络的非线性转换方法。运用神经网络特有的非线性映射能力和不需要精确数学模型的分析能力, 实现了这一非线性转换。实验结果表明, 建立的网络模型具有较好的精度, 能够满足色彩空间的转换要求。

关键词: 色彩空间; 神经网络; 非线性

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)13-0112-04

Study of $L^*a^*b^*$ -CMYK Color Space Conversion Based on Neural Network

GAO Jun, FAN Zeng-hua

(Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: A new method of non-linear conversion based on improved BP neural network was presented in view of the non-linear characteristic of $L^*a^*b^*$ -CMYK value. The non-linear conversion was achieved with the non-linear mapping ability of neural network and the analysis ability not requiring precise mathematical model. The result of experiment showed that the network model has good accuracy and can meet the requirements of color space conversion.

Key words: color space; neural network; non-linear

色彩检测是彩色印刷品质判定的重要环节, 决定了印刷品质评价的客观程度。色彩检测的色度值可以表述印刷品的质量, 通过色彩信息也能够计算出印品所需的各色墨量。在一般印刷工艺中, 彩色印刷品是由四色油墨(C(青)、M(品红)、Y(黄)、K(黑))套印而成。然而, 色彩检测的起始过程中常常得到图像的三刺激值(RGB 值), 为了得到最终印刷所需四色墨量, 需要通过和设备无关的 $L^*a^*b^*$ 色彩空间的过渡, 进而完成三色到四色输出空间的转换。这是一明显的非线性转换过程, 是由 $L^*a^*b^*$ 3 个变量来求解 CMYK 4 个变量值, 单从数学上对这一非线性关系求解是没有意义的。文中提出一种基于神经网络的转换方法, 利用神经网络特有的非线性映射能力直接建立 $L^*a^*b^*$ -CMYK 的映射模型。文中采用 CMYK 的网点面积率作为输出墨量的计算依据, 把计算出的网点面积率的差值转化为实地密度, 可以实

现对墨量的调整。

1 $L^*a^*b^*$ -CMYK 色彩空间转换方法

常用的色彩空间转换方法有多项式回归法、查表插值法和平面模型理论法, 下面介绍了 2 种常见的应用于 $L^*a^*b^*$ -CMYK 色彩空间转换的方法^[1]。

1.1 查表插值法

随着 GCR(灰成分替代)/UCR(底色去除)的应用, K(黑色)值可以用 CMY 3 个量来表达, 即 K 是 CMY 的一个函数^[2-3]:

$$K_i = a_1 Y_i + a_2 M_i + a_3 C_i = a \times \min(c, m, y) \quad (1)$$

其中: $a = 1 - (\max(c, m, y) - \min(c, m, y)) / \min(c, m, y)$

通过灰成分替代标定, 将 CMYK 四维空间问题转变成 CMY 三维问题, 通过四面体插值法可以实现

收稿日期: 2012-05-04

基金项目: 山东省高校科技计划项目(J10LD09)

作者简介: 高军(1971—), 男, 山东临沂人, 硕士, 山东理工大学副教授、硕士生导师, 主要从事机械 CAD/CAM、印刷测控系统等研究。

$L^*a^*b^*$ 空间到 CMY(三种油墨的墨量)空间的转换,又称为 3D-LUT 查表法。

1.2 平面模型理论法

平面模型理论是彩色印刷品呈色中一种新颖的模型,它是日本学者在大量的实验检测基础上提出的一种理论^[4]。实验发现,当三色色块 C(青)、M(品红)、Y(黄)中某一网点面积率确定,而其他 2 种随意变化时,这类色块的 L^* 、 a^* 、 b^* 值几乎都在一个平面上,这一结果即为平面理论。式 2—4 为其数学方程表达式。

$$C(\text{青墨})\text{的平面方程: } L^* = A_{ci}a^* + B_{ci}b^* + C_{ci} \quad (2)$$

$$M(\text{品红墨})\text{的平面方程: } L^* = A_{mi}a^* + B_{mi}b^* + C_{mi} \quad (3)$$

$$Y(\text{黄墨})\text{的平面方程: } L^* = A_{yi}a^* + B_{yi}b^* + C_{yi} \quad (4)$$

式中: A, B, C 表示三色油墨平面方程的平面系数;下标 c, m, y 表示青、品红、黄三色; i 表示网点面积率。

由以上 2 种转换方法的数学关系可以看出,这 2 种色彩空间的转换模式都是 $L^*a^*b^*$ -CMY-CMYK, 求解 K 值相对于整个转换空间来说是一种附加关系。因此 K 值的求解至关重要,它的精度不仅关系 K 值本身,还直接影响整个色彩空间转换的精度。寻找一种直接实现 $L^*a^*b^*$ -CMYK 色彩空间转换的方法成为必须解决的问题,随着神经网络技术的发展,特别是神经网络在非线性问题方面的广泛应用,近年来研究人员将这一特点应用到色彩学中。

2 $L^*a^*b^*$ -CMYK 色彩空间转换整体方案

采用神经网络直接实现 $L^*a^*b^*$ -CMYK 这一转换关系,设计了色彩空间转换的整体方案,通过对不同网络算法、结构的比较以及对网络的训练、测试,建立满足条件的网络模型,基于神经网络色彩空间转换的整体方案见图 1。

通过此网络模型的建立,可由采集样本的 $L^*a^*b^*$ 值直接计算出 CMYK 值。在印前,标准 CMYK 值可以作为预调墨的依据;在质量检测和控制过程中,通过与标准 CMYK 值的比较计算出四色印刷的色差值,将色差值转化为相应的墨量差值,实现对印刷品质量的控制。

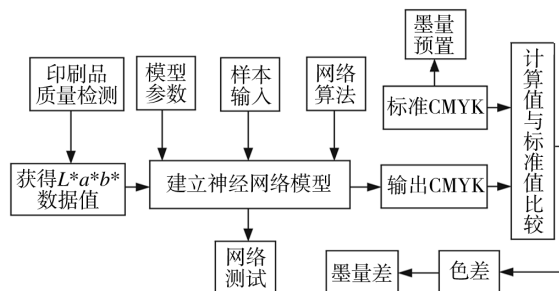


图 1 色彩空间转换框图

Fig. 1 Block diagram of color space conversion

3 $L^*a^*b^*$ -CMYK 色彩空间转换模型的建立

神经网络模型的建立需要经过如下几个步骤:网络建立;网络训练;网络测试。建立网络模型需要获取训练样本、测试样本,确定相应的模型参数和算法。

3.1 网络结构

一个常规的 3 层 BP 网络结构见图 2,包括输入

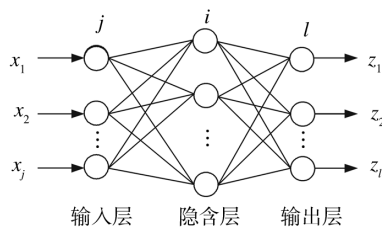


图 2 神经网络结构

Fig. 2 Structure of neural network

层、输出层和一个隐含层。该网络模型可以实现输入到输出的任意非线性映射,在实际应用中可以根据被控对象的复杂程度增加隐含层神经元的个数和隐含层的层数^[5-6]。文献[7]和[8]对经典的 3 层 BP 神经网络模型结构的算法流程进行了分析。

3.2 模型的建立及参数确定

网络模型的目的就是表达输入和输出的泛化能力,样本是神经网络的根本,在神经网络训练之前必须获得样本,样本包括输入向量和相应的期望输出向量。在 $L^*a^*b^*$ -CMYK 的转换中,选用 IT8.3/7 标准色标的标准数据作为样本,采用改进的 BP 算法建立神经网络模型^[7-8]。神经网络模型的输入层选择 3 个节点,分别代表 3 个输入量 L^* 、 a^* 、 b^* ,输出层 4 个节点与最终 C、M、Y、K 的输出对应,构建成一个三输入、四输出的网络模型。

3.3 改进的 BP 算法

对于复杂的网络,误差曲面在多维空间,容易使

网络陷入局部最小。BP 算法与输入样本的顺序有关,且收敛速度缓慢。文中采用梯度下降法和牛顿法相结合的 Levenberg-Marquardt 算法(L-M 算法),又称阻尼最小二乘法,其权值调整公式为:

$$\Delta w=(J^T J+\mu I)^{-1} J^T e \tag{5}$$

式中: e 为误差向量; J 为误差对权值微分的雅可比矩阵; μ 为临界值标量,当 μ 在某一临界值以上时为最速下降法,当 μ 下降到 0 时为高斯-牛顿算法。

相对其他传统的 BP 算法,该算法迭代次数少、收敛速度快、精度高。

4 模型实验及分析

在实际应用中,BP 神经网络的隐含层节点数没有具体的数学模型,只能通过经验公式不断地试凑。此外,训练误差在训练过程中也不是越小越好,过小的训练误差可能会达不到满意的仿真结果。通过变换隐含层节点数以及训练误差,对网络进行反复的训练,最终确定网络模型为 3-9-4 结构。

4.1 网络模型测试

网络模型能不能具有泛化能力,能不能满足判断墨量控制的精度要求,需要对模型进行分析。文中选取部分数据通过网络模型计算出相应的输出值,并通过与标准数据值的比较,验证模型的准确性和实用性。实验主要通过训练同类样本对网络的预测和非训练样本对网络的预测 2 个方面分析网络模型。

一个方面随机选取 10 组建模样本数据($L_0^* a_0^* b_0^* -C_0 M_0 Y_0 K_0$)作为网络的测试样本,将标准数据 $L_0^* a_0^* b_0^*$ 进行归一化处理,输入已建立的网络模型计算得到输出值 $C_1 M_1 Y_1 K_1$,并与标准值 $C_0 M_0 Y_0 K_0$ 的比较检验训练样本数据的预测结果,训练样本的预测结果比较见表 1。

另一个方面再随机选取 10 组非训练样本数据($L_2^* a_2^* b_2^* -C_2 M_2 Y_2 K_2$)作为网络模型的测试样本,同样将输入值进行归一化后输入网络模型,计算输出非训练样本相应的输出值 $C_3 M_3 Y_3 K_3$,通过与标准值 $C_2 M_2 Y_2 K_2$ 的比较来检验模型的预测效果,非训练样本的预测结果比较见表 1。

表 1 训练样本的预测结果

Tab.1 Predictive result of training samples

输入标准 $L^* a^* b^*$ 值			网络模型计算网点面积率/%				标准网点面积率/%			
L_0	a_0	b_0	C_1	M_1	Y_1	K_1	C_0	M_0	Y_0	K_0
36.67	-47.94	22.42	99	0	99	40	100	0	100	40
50.79	-6.75	4.56	25	2	21	60	20	0	20	60
40.21	-16.79	-7.59	72	5	21	60	70	0	20	60
52.43	-7.58	40.45	6	0	71	60	0	0	70	60
43.6	-16.47	28.1	33	0	71	60	40	0	70	60
30.13	-37.37	8.28	100	0	77	60	100	0	70	60
56.54	4.79	-11.23	15	20	2	40	20	20	0	40
44.65	-5.11	-24.52	75	26	2	40	70	20	0	40
59.31	3.71	19.35	3	16	35	40	0	20	40	40
50.44	-6.71	9.67	27	6	35	41	40	20	40	40

表 2 非训练样本的预测结果

Tab.2 Predictive result of non-training samples

输入标准 $L^* a^* b^*$ 值			网络模型计算网点面积率/%				标准网点面积率/%			
L_2	a_2	b_2	C_3	M_3	Y_3	K_3	C_2	M_2	Y_2	K_2
55.43	-2.87	8.56	11	0	18	60	0	0	20	60
47.16	-10.36	-0.02	37	2	19	60	40	0	20	60
32.38	-25.17	-17.69	100	3	19	60	100	0	20	60
47.44	-12.17	34.5	18	1	74	60	20	0	70	60
37.32	-24.38	18.58	59	0	71	60	70	0	70	60
61.16	8.89	-5.57	4	16	3	40	0	20	0	40
51.8	1.13	-15.9	33	23	2	40	40	20	0	40
35.89	-12.54	-33.71	98	27	3	40	100	20	0	40
54.15	-1.89	14.14	12	13	36	40	20	20	40	40
42.74	-15.33	0.11	61	4	35	40	70	20	40	40

4.2 实验分析

由实验结果可以看出,训练样本的预测效果比非训练样本的效果要好。训练样本的预测结果与标准数据的误差较小,相对而言,非训练样本的预测结果与标准数据的误差则较大。这一结果是网络模型实际情况的反映,在合理的误差范围内,不会影响对网络性能的分析。

通过实验仿真,训练样本的均方误差为 0.18,非训练样本的均方误差为 0.23。训练样本作为测试数据的预测结果表明,四色油墨的网点面积率的误差全都小于 5%,非训练样本作为测试数据的预测结果表明,四色油墨的网点面积率的误差全都小于 10%。对应于色差值,预测值与标准值的色差均在 $6E_{ab}^*$ 以内,多数样本的色差值在 $3\Delta E_{ab}^*$ 以内。预测结果的分析表明该网络模型拥有较高的精度,能够应用于色彩空间转换的计算。

5 结语

针对印刷品 $L^*a^*b^*$ -CMYK 色彩空间转换的非线性特性,应用改进 BP 神经网络实现色彩空间的转换,设计了 $L^*a^*b^*$ -CMYK 色彩空间转换模型。测试样本表明建立的网络模型具有较好的精度和映射能力,能够实现 $L^*a^*b^*$ 空间到 CMYK 空间的转换。网络模型的建立可以实现输入 $L^*a^*b^*$ 值到输出 CMYK 网点面积率的直接计算,能够为油墨墨量的调节和控制提供控制参数。

参考文献:

- [1] 胡涛,汪鑫,张志刚. 人工神经网络在 GRT 色空间变换的应用[J]. 现代电子技术,2005(2):71—72.
HU Tao, WANG Xin, ZHANG Zhi-gang. Application of Artificial Neural Network in CRT Color Space Conversion[J]. Modern Electronics Technique, 2005(2):71—72.
- [2] 张岩,魏庆葆. 基于 GCR 的 GMY 与 CMYK 转换算法[J]. 包装工程,2010,31(5):27—29.
ZHANG Yan, WEI Qing-bao. The Conversion Algorithm of CMY and CMYK Based on GCR[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(5):27—29.
- [3] ZHAO Dong-yan, ZHANG Jie, ZHAO Yong-li. Compensation Control Study Based on Impairment-aware for Wavelength Switched Optical Networks (WSO) [J]. Optics Communications, 2011, 284(21):5037—5042.
- [4] 康一. $L^*a^*b^*$ 到 CMYK 色彩空间转换方程的研究[D]. 西安:西安理工大学,2006.
KANG Yi. Research on Equation from $L^*a^*b^*$ to CMYK[D]. Xi'an:Xi'an University of Technology, 2006.
- [5] 陈路,李小东. 基于 BP 神经网络的 CMY 到 XYZ 颜色空间转换算法研究[J]. 包装工程,2007,28(7):63—64.
CHEN Lu, LI Xiao-dong. Research of Algorithm Transforming CMY to XYZ Color Space Based on BP Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(7):63—64.
- [6] Neville E SANJANA, Sawyer B FULLER. A Fast Flexible Ink-jet Printing Method for Patterning Dissociated Neurons in Culture[J]. Journal of Neuroscience Methods, 2004, 136(2):151—163.
- [7] 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:Publishing House of Electronics Industry, 2004.
- [8] 范增华,高军,李长涛. 基于神经网络的墨量控制算法的研究[J]. 包装工程,2010,31(19):28—31.
FAN Zeng-hua, GAO Jun, LI Chang-tao. Study of Ink Control Algorithm Based on Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19):28—31.
- YU Xiu-li, ZHAO Bai-lin. The Features, Technology and Machine of the Transfer Print[J]. Printing Field, 2002(8):99—100.
- [6] COLLARD, GENE. Pad Transfer Printer Features Hermetically Sealed Ink Cup[J]. Modern Plastics, 1996(5):112.
- [7] 林兆祥,张梅莉. 机械式移印机的设计[J]. 包装与食品机械,1994,12(3):5—7.
LIN Zhao-xiang, ZHANG Mei-li. The Design of the Mechanical Transfer Printer[J]. Packaging and Food Machinery, 1994, 12(3):5—7.
- [8] 杨可桢,程光蕴,李仲生. 机械设计基础[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
YANG Ke-zhen, CHENG Guang-yun, LI Zhong-sheng. Fundamentals of Mechanical Design[M]. Beijing:Higher Education Press, 2006.

(上接第 100 页)