基于 BP 神经网络的数码相机颜色特征化

蒋飞飞，徐兰萍，郑立扬
（上海大学，上海 200072）

摘要：以色度学理论和神经网络为基础，在综合比较数码相机颜色特征化方法之后，采用了基于 BP 神经网络的颜色特征化方法。利用 MATLAB 实现了从 RGB 到 XYZ 及 Lab 的颜色空间转换，比较了 2 种转换模型的精度，统计分析了该模型产生训练误差和测试误差的主要原因，验证了 RGB→Lab 转换算法是一种较优和可靠的方法。

关键词：BP 神经网络；数码相机颜色特征化；色彩空间转换
中图分类号：TS803；TS801.3　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-3563(2012)05-0107-04

Color Characterization for Digital Camera Based on BP Neural Network

JIANG Fei-fei，*XU Lan-ping*，*ZHENG Li-yang*
（Shanghai University，Shanghai 200072，China）

Abstract：Color characterization method for digital cameras based on BP neural network was proposed after comparison of color characterization methods using the color theory and neural network theory. Color space conversion from RGB to XYZ and Lab was realized by using MATLAB. The precision of the two models was compared and the main causes of training and test error were analyzed statistically. The results showed that RGB to Lab color space version is better than RGB to XYZ.

Key words：BP neural network；color characterization for digital camera；color space conversion

随着计算机技术和图像处理技术的发展，数字图像在视图、传输和印刷领域的应用越来越广。数码相机是获取原始图像的重要途径，但在使用过程中，不同品牌的相机拍摄同一幅图像得到的色彩数据是不同的，同一幅图像相机里的显示效果与液晶屏的显示效果也并不相同，需要对数码相机应用色彩管理，实现从色彩信息采集到色彩信息输出整个过程的色彩一致性。

正确应用色彩管理技术可以最大限度发挥物理材料和设备的性能，减少色彩在各个设备传递过程中丢失。目前研究数码相机色彩管理的方法主要有 2 种：基于光谱灵敏度法，需要使用专门仪器测量数码相机的光谱灵敏度，从而找到光谱灵敏度与 CIE 色度匹配函数时间的关系，建立 RGB 到 XYZ 间的转换关系；基于目标色法的基本思想是使用一定数量的参考色标，分别使用数码相机和光谱计测得其 *RGB* 值和相应的 *XYZ* 值进行研究[1]，该方法简单实用，应用较广。

1　基于 BP 神经网络的数码相机颜色特征化方法

色彩管理的目的[2]是使同一颜色在不同彩色设备上得到相同的颜色视觉效果，以满足彩色图像复制与传播的要求，数码相机色彩管理的流程见图 1。

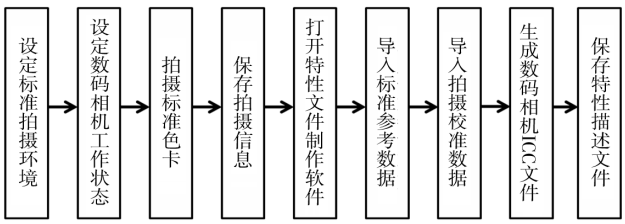


图 1　数码相机色彩管理流程

Fig. 1 Flowchart of digital camera color management

收稿日期：2011-12-13

作者简介：蒋飞飞（1988—），女，浙江东阳人，上海大学硕士生，主攻色彩管理。

正确地应用色彩控制技术可以最大限度地发挥设备和物理材料性能，减少色彩在不同设备传递时产生的失真，最大程度地实现色彩在各个设备上的一致性。数码相机的颜色特征化过程实质就是生成设备特性文件的过程。设备特性文件是一组用来描述色彩输入、输出设备或者某种色彩空间的特性的数据集合。设备特性文件描述设备的色度特性化曲线、输出色域特性曲线等颜色特征，色彩管理系统利用这些具有代表性的颜色特征实现各设备色空间的匹配和转换，最终达到所见即所得[3]。目前常用的设备色彩特征化的方法为多项式回归法、查表法和 Neugebauer 方程法。

多项式回归算法项数越多，模型转换精确度越高。该模型的优点是模型和算法实现简单，运算速度快；缺点是通用性较差，而且目前的设备大多为非线性设备，用该方法构造的转换模型，不能达到很高的精度。

查表法的优点是转换精度较高，通用性强；缺点是数据空间的选择过程，若空间过大，则增加了彩色匹配算法的空间和时间复杂性，并且当输入输出变化时，对表的更新也不方便；若空间过小，则不能反映色彩空间的特性。

由于神经网络具有模糊性、并行处理以及非线性转换的特点，与色空间转换相似，因此可以采用神经网络的方法。

人工神经网络是借助于大脑神经元电化学活动抽象出来的一种多层网络活动，具有很强的处理非线性关系的能力。色空间转换是从与设备有关的 RGB 色空间转换到与设备无关的 Lab 色空间或者 XYZ 色空间，是一个非线性的过程，因此用神经网络处理更符合这种转换特性[5]。Kolmogorove 定理表明：任何连续函数都可由一个 3 层神经网络来实现。

基于非线性变换单元组成的前馈型 BP 神经网络模型理论，在描述非线性关系方面具有独特的优势，能实现自适应性学习、记忆网络映射结构，并保存学习结果。

对数码相机来说，采用 RGB 色彩空间的数码相机在利用 BP 神经网络进行色彩空间转换时，输入信号通常为 R,G,B 刺激值，XYZ 数值或 Lab 数值作为网络的输出信号。采用三输入三输出的神经网络模型结构，见图 2。

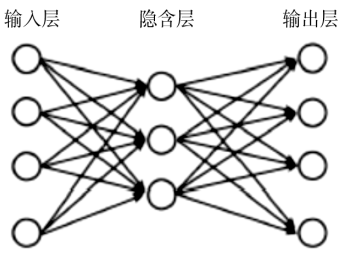


图 2 BP 神经网络模型

Fig. 2 BP neural network model

2 基于 BP 神经网络的颜色特征化方法

利用 MATLAB7.0 神经网络工具箱，分别建立基于 BP 神经网络的 RGB→XYZ 和 RGB→Lab 的色空间转换模型。选择三输入三输出、单隐含层的 3 层神经网络结构。

2.1 实验步骤

2.1.1 设备与条件

1）数码相机（带三角架）：Nikon D80，具体参数见表 1。

表 1 数码相机的参数

Tab.1 Parameters of digital camera

主要性能参数	Nikon D80
传感器	23.6 mm×15.8 mm CCD
有效像素	1 020 万
镜头	18～135 mm
图像格式和尺寸	NEF/3 872×2 592
镜头光圈范围	F3.5～5.6
快门速度	1/4000～30 s B 门
曝光模式	程序自动、光圈优先、快门优先、手动
感光度	自动 ISO 100－1 600（可扩展到 3 200）
曝光补偿	±2 eV，每级 1/3 eV 可调
测光方式	3D 彩色矩阵测光Ⅱ、中央重点测光、点测光
白平衡	自动、白炽灯、荧光灯、阳光、闪光灯、阴天、阴影、手动

2）Color Checker SG 数码相机专用色卡（深白色彩管理网购得）。

3）MATLAB 7.0 软件、Photoshop CS2 图像处理软件、Microsoft Office 2003。

2.1.2 步骤

选用相机为 Nikon D80，进行拍摄之前，应对数码相机进行参数设置，包括分辨率、图像品质、白平

衡、曝光补偿、ISO 感光度、是否使用闪光灯等等。如果参数设置不同，用数码相机获取的图像质量会有很大的不同。

用设置好的 NikonD80 数码单反相机对 Color Checker SG 色卡在显色性较好的钨丝灯（白炽灯）光源下和日光下进行拍摄，获取在钨丝灯（白炽灯）光源下和日光下的 *RGB* 值。拍摄示意图见图 3－4。选

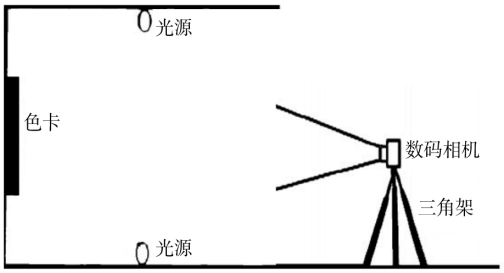


图 3　摄影室内拍摄示意图

Fig. 3 Sketch map of shooting in studio

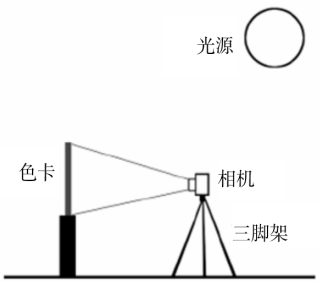


图 4　日光下拍摄示意图

Fig. 4 Sketch map of shooting in sunshine

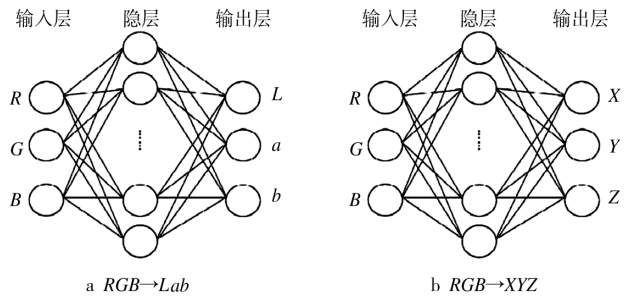
取数码相机在钨丝灯和日光下拍摄所得到的 Color Checker SG 色卡的 48 个色块的 *RGB* 值作为训练输入样本，训练样本 Color Checker SG 色卡的标准 *XYZ* 和 *Lab* 值作为训练期望输出，利用 BP 神经网络构建的转换模型进行训练，实现 RGB 色彩空间到 Lab 色彩空间和 XYZ 色彩空间的转换。再选取色卡中不同于训练样本的标准 *Lab* 值作为测试期望输出，将与其对应的采集所获得的 *RGB* 值作为测试输入样本，检测网络的泛化能力。

基于 BP 网络的数码相机色彩空间转换模型，利用 MATLAB 7.0 神经网络工具箱分别建立基于 BP 神经网络的 RGB→XYZ 和 RGB→Lab 的色空间转换模型。隐含层的神经元个数根据经验公式：

$$n_k=\sqrt{n\times m}+\frac{1}{2}k$$

式中：n 为输入层神经元个数；m 为输出层神经元个数；k 为学习样本个数。

计算得 n_k 为 27，分别取隐含层的神经元个数为 25，30 和 35，并综合考虑训练误差、转换色差等因素，对网络模型进行比较。输入层和隐含层间的激活函数为 tansig（双曲正切）函数，隐含层和输出层的激活函数为 purelin（线性）函数。初始权值和学习速率均使用默认值，期望误差取 0.01。在进行转换时，综合考虑训练误差和测试误差，将算法进行多次循环，以求得一个最佳的训练和测试结果。RGB→Lab 转换和 RGB→XYZ 转换的 BP 网络结构示意图见图 5。



a *RGB→Lab*　　b *RGB→XYZ*

图 5　颜色空间转换 BP 网络结构示意图

Fig. 5 Sketch map of BP neural network structure for color space conversion

2.2　结果评价

对转换模型精度的评价主要包括训练色差、测试色差等方面。模型精度随着训练样本数量增加而提高，同时测试色差也越小。

为了寻求模型结构、实际训练误差和训练色差结果之间的关系，设定相同的学习速率和训练次数，目标训练次数设定为一个较大的数值：500 000 次。分别取过 200 000 和 300 000 次进行训练，但都不能达到期望误差要求（0.01），同时也曾把训练期望误差取为 0.1，然后将训练次数定为 200 000 次，训练很快就达到期望误差值，但训练平均色差偏大，所以综合考虑，将训练次数设为 500 000 次，训练期望误差设为 0.01。

NikonD80 在钨丝灯和日光下建立的 RGB→XYZ 模型参数及训练色差和测试色差对比见表 2。

NikonD80 在钨丝灯和日光下建立的 RGB→Lab 模型参数及训练色差和测试色差对比见表 3。

从表 2－3 可以看出，3-35-3 色彩空间转换模型的平均训练色差最小，网络逼近实际色彩空间映射关系的能力较好，3-35-3 转换模型的平均测试色差最小，

表 2 Nikon D80 的 RGB→XYZ 转换模型与色差

Tab. 2 RGB to XYZ conversion model and color difference of Nikon D80

模型结构	训练期望误差	实际训练误差	训练次数	光源类型	训练 $\Delta\overline{E}/\Delta E_{max}$	测试 $\Delta\overline{E}/\Delta E_{max}$
3-25-3	0.01	0.064 63	500 000	钨丝灯	3.13/11.98	7.66/21.00
3-30-3	0.01	0.023 48	500 000	钨丝灯	1.81/8.69	6.22/21.52
3-35-3	0.01	0.009 99	299 202	钨丝灯	1.49/8.79	5.94/14.76
3-25-3	0.01	0.077 59	500 000	日光	3.44/9.88	7.71/20.20
3-30-3	0.01	0.033 37	500 000	日光	2.14/15.69	6.88/17.45
3-35-3	0.01	0.009 99	371 378	日光	1.59/7.02	5.76/14.12

表 3 Nikon D80 的 RGB→Lab 转换模型与色差

Tab. 3 RGB to Lab conversion model and color difference of Nikon D80

模型结构	训练期望误差	实际训练误差	训练次数	光源类型	训练 $\Delta\overline{E}/\Delta E_{max}$	测试 $\Delta\overline{E}/\Delta E_{max}$
3-25-3	0.01	0.902 44	500 000	钨丝灯	1.38/3.68	6.28/13.18
3-30-3	0.01	0.387 61	500 000	钨丝灯	0.75/3.94	5.63/9.04
3-35-3	0.01	0.009 99	363 348	钨丝灯	0.14/0.42	3.55/8.62
3-25-3	0.01	1.718 07	500 000	日光	2.11/3.77	5.99/11.18
3-30-3	0.01	0.503 69	500 000	日光	1.00/3.25	5.29/10.27
3-35-3	0.01	0.012 51	500 000	日光	0.16/0.51	4.72/9.05

代表了网络的泛化性能较好。同时还可以看出，实际训练误差与训练有着一定的对应关系，训练随着实际训练误差的减小而相应地减小，而要达到较小的实际训练误差，需要较大的训练次数，这导致了训练时间的增加。可以适当地调整隐含层神经元个数，以减少训练次数。3-35-3 转换模型都在低于 500 000 次的训练后，获得最小的实际训练误差(0.009 99)，从平均色差角度看，3-35-3 应是较合理的选择。

2.3 结果

通过不断调节隐含层神经元数量、训练次数、期望误差等方法，减小了色彩空间转化的色差，提高了训练的速度。无论在何种光源下，Nikon D80 都是在 3 层、35 个隐含层神经元的 BP 神经网络模型中，得到最小的平均训练色差和平均测试色差。

将 NikonD80 相机的 2 种转换模型的训练与测试平均色差进行对比，见图 6。

由图 6 可以看出，RGB→Lab 模型 Nikon D80 的训练和测试色差明显低于 RGB→XYZ 模型。其原因主要是：RGB→XYZ 模型在计算色差时要将得到的 *XYZ* 值通过计算公式转换为 *Lab*，而由于 XYZ 颜色空间本身存在的感知不均匀性，所以在将其向感知均匀的 Lab 空间转换时，在转换过程中存在着偏差。

结果表明，采用基于 BP 神经网络的颜色特征化

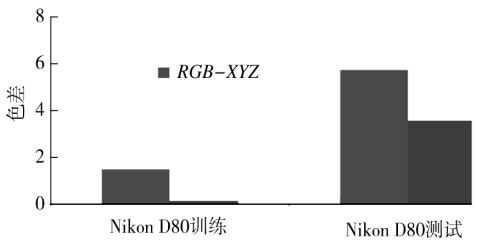


图 6 RGB→XYZ 和 RGB→Lab 转换模型平均色差比较

Fig. 6 Comparison of average color difference between RGB/XYZ model and RGB/Lab model

方法 RGB→Lab 模型的精度更高，更适合作为设备连接空间。目前制作特征文件的软件都是应用三维查找表法，后期可以应用 BP 神经网络法作为制作特征文件软件的内核，开发新的特征文件生成软件。

3 结论

作为研究色彩空间转换和特征化的一种方法和途径，把人工神经网络引入色彩管理领域，是行之有效的[8]。结合色彩管理理论和人工神经网络技术，提出了基于 BP 神经网络的数码相机色彩空间转换模型，借助计算机硬件和 MATLAB 神经网络工具箱对

(下转第 118 页)

era[J]. Packaging Engineering, 2008,29(7):87－89.

[2] 李博. 数码相机颜色还原性能及宽容度测试[J]. 包装工程,2011,32(15):106－109.
LI Bo. Digital Camera Color Reproduction Performance and Its Tolerance Test [J]. Packaging Engineering, 2011,32(15):106－109.

[3] 何颂华. 基于数码相机特性文件的色彩校正和色彩管理研究[J]. 包装工程,2005,26(5):83－86.
HE Song-hua. Study of Color Correction and Management Based on Color Profile of Digital Camera[J]. Packaging Engineering, 2005,26(5):83－86.

[4] 宗慧超. 基于色貌模型的新一代色彩管理系统研究[J]. 包装工程,2007,28(9):106－108.
ZONG Hui-chao. Research on the New Computer Color Management System Based on CAM[J]. Packaging Engineering, 2007,28(9):106－108.

[5] YOSHINOBU Nayatani, HIDEKI Sakai. Complexity of the Color Appearance of Objects with Nonuniform Illumination[J]. Color Research and Application,2006(12):372－377.

[6] 刘红芳. 图像色貌模型的研究及应用[J]. 包装工程,2008,29(6):66－68.
LIU Hong-fang. Research and Application of Image Color Appearance Model[J]. Packaging Engineering, 2008,29(6):66－68.

[7] 许宝卉. 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):82－84.
XU Bao-hui. Research on Color CRT Profile Based on Color Management[J]. Packaging Engineering,2007,28(3):82－84.

[8] NATHAN M, FAIRCHILD M D, HUNT R W G. The CIECAM02 Color Appearance Model [C]. SID Tenth Color Imaging Conference, Scottsdale, Arizona: The Society for Imaging Science and Technology,2002.

[9] BRILL M H. Irregularity in CIECAM02 and Its Avoidance[J]. Color Research and Application, 2005(9):142－145.

[10] KENJIRO Hashimoto, TADASHI Yano. New Method for Specifying Color-Rendering Properties of Light Sources Based on Feeling of Contrast[J]. Color Research and Application,2006(11):361－365.

[11] WU Ray-Chin, WARDMAN R H. Proposed Modification to the CIECAM02 Colour Appearance Model to Include the Simultaneous Contrast Effects [J]. Color Research and Application,2007(4):121－127.

(上接第 110 页)

数码相机颜色特征化进行了基础性的实验。实验表明,神经网络是一种比较好的色彩空间转换方法,并且在该方法中 RGB→Lab 转换模型比 RGB→XYZ 模型更加理想。今后需要进一步提高 BP 神经网络模型的精度。

参考文献:

[1] HONG Guo-wei, RONNIER L M, RHODES P A. A Study of Digital Camera Colorimetric Characterization Based on Polynomial Modeling[J]. Color Research and Application,2001,6(1):76－84.

[2] 徐丹. 基于 ICC 标准的色彩管理研究[J]. 软件学报,1998,9(10):740－747.
XU Dang. Research of Color Management based on ICC Standard[J]. Journal of Software, 1998, 9(10): 740－747.

[3] 孙中华,王俊卿,宋贞海. 印前图像复制技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,2006.
SUN Zhong-hua, WANG Jun-qing, SONG Zhen-hai. Pre-Press Graphic Copy Technology [M]. Beijing: China Light Industry Press,2006.

[4] 陈婧,唐万有,王学美. 多项式回归法在印刷品质量检测中的研究[J]. 包装工程,2009,30(11):93－95.
CHENG Qian, TANG. Wang-you, WANG Mei-xue. The Polynomial Regression Method in Print Quality Testing [J]. Packing Engineering,2009,30(11):93－95.

[5] 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.
LI Li-xia, ZHANG Yi-xin. Neural Network Application in the Color Space Conversion[J]. Packaging Engineering,2011,32(9):108.

[6] MAHY M, VAN EYCKDEN L, OOSTERLINCK A. Evaluation of Uniform Color Spaces Developed after the Adoption of CIELAB and CIE2LUV[J]. Color Res Appl,1994,19(2):105－121.

[7] 徐咏池. 人工神经网络在印刷工程领域的应用[J]. 印刷杂志,2007(12):44.
XU Yong-chi. Neural Network Application in Printing Field[J]. Printing Journal,2007(12):44.