

# 一种基于子空间划分的打印机光谱预测模型

刘真<sup>1</sup>, 于海琦<sup>1</sup>, 田全慧<sup>2</sup>

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 上海出版印刷高等专科学校, 上海 200093)

**摘要:** **目的** 实现打印机的光谱预测。 **方法** 提出一种基于子空间划分的径向基函数(RBF)神经网络模型, 将打印机颜色空间划分成若干子空间, 在子空间中运用RBF神经网络, 对任意输入打印机驱动值根据其所在子空间实现其光谱值的预测。 **结果** 该模型的预测精度较未进行子空间划分模型的有明显提高。 **结论** 该模型能够满足高精度打印机光谱预测的要求。

**关键词:** RBF神经网络; 光谱预测; 打印机; 子空间划分

**中图分类号:** TS803.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)13-0122-03

## A Subspace Partition-based Model for Printer Spectral Prediction

LIU Zhen<sup>1</sup>, YU Hai-qi<sup>1</sup>, TIAN Quan-hui<sup>2</sup>

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China)

**ABSTRACT:** The aim of this study was to establish a printer spectral prediction model using RBF (Radial Basis Function) neural network based on subspace partition. The color space of printer was divided into subspaces and RBF neural network models were applied in subspaces with least square method. Spectral reflectance of any printer motivation values were predicted by RBF neural network according to their own space. Experimental results showed that prediction accuracy of the model was obviously improved compared with models without subspace partition, which can satisfy the requirement of high-precision spectral prediction of printer.

**KEY WORDS:** RBF neural network; spectral prediction; printer; subspace partition

印刷行业对颜色复制精度的要求越来越高。颜色的准确复制需要颜色预测模型定量指导, 目前颜色预测模型的研究热点是基于光谱的颜色预测, 即建立驱动值与光谱反射率之间的转换模型, 其能有效避免同色异谱问题<sup>[1]</sup>。文中将打印机颜色空间分为若干子空间, 在子空间中运用RBF神经网络模型进行打印机的光谱预测。

### 1 常用的光谱预测模型

现有的光谱预测模型有光谱 Neugebauer 模型<sup>[2-4]</sup>、多项式回归模型<sup>[5-7]</sup>、查找表模型<sup>[8]</sup>、神经网络模型<sup>[1, 9-11]</sup>等。由于打印设备的非线性较高且印刷复制条件复

杂、稳定性较差, 光谱 Neugebauer 模型虽然较简单, 但是转换精度差, 对其修正又需要大量的样本, 模型复杂、效率低。多项式回归模型样本相关性强, 查找表模型达到高精度大量的样本, 效率较低, 2 种模型更适合于低维的色度预测, 而光谱预测模型中光谱维数较高, 使得模型效率较低。神经网络模型不需要考虑呈色的复杂内部机制, 只需要通过优化网络参数、样本选择等, 就可以得到满足应用要求的网络。目前印刷中应用较多的主要是 BP 和 RBF 两大类神经网络模型。文献[1]提出使用 BP 神经网络和 RBF 神经网络解决颜色复制中的非线性映射问题, 文献[11]借助 BP 神经网络对打印机进行特性化。研究表明, BP 神经网络容易陷入局部极值, 相同网络结构和参数的 BP 网络

收稿日期: 2015-02-04

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(61301231); 上海市研究生创新基金(JWCXSL1402)

作者简介: 刘真(1953—), 女, 江苏泰州人, 硕士, 上海理工大学教授, 主要研究方向为色彩管理和印刷数字化工作流程。

会得到不同的预测结果,导致预测结果不稳定,故BP神经网络并不适用于需要定量表示颜色的预测模型,而RBF神经网络建模速度快、算法简单,多维非线性映射能力强,预测结果稳定,且具有唯一的最佳逼近特性,不存在BP神经网络的局部极值问题是前向网络中完成映射功能的最优网络<sup>[12]</sup>。故文中采用在子空间中运用RBF神经网络进行打印机光谱预测的建模。

## 2 子空间划分的RBF神经网络算法

### 2.1 RBF神经网络

RBF神经网络<sup>[12-13]</sup>的基本思想是以径向基函数作为隐单元的“基”,构成隐含层空间,隐含层将低维输入向量变换到高维空间,解决低维线性不可分的问题。RBF神经网络是一种局部逼近网络,只需对少量的权值和阈值进行修正,不存在BP神经网络的局部极值问题。RBF神经网络是一种特殊的三层前向网络,包括输入层、隐含层和输出层。文中以通道驱动值作为神经网络的输入变量,光谱反射率作为输出变量,进行神经网络模型的训练。输入层和隐含层直接连接,隐含层包含一系列径向基函数,通常采用高斯函数,基于上述特征,神经元响应模型可表示为:

$$R_i(x) = \exp\left(-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (i=1,2,\dots,k) \quad (1)$$

式中: $x$ 为输入样本; $c_i$ 为中心点; $R_i(x)$ 为网络输出; $\sigma$ 为宽度,决定了径向基函数围绕中心点的宽度。相应的输出层节点的输出为:

$$Y = \sum_{i=1}^k W_i \cdot R_i(x) \quad (2)$$

式中: $W_i$ 为隐含层到输出层的连接权值; $k$ 为隐含层节点数。

在RBF神经网络训练前,需要首先确定分布密度Spread的值,Spread值越大,网络的逼近误差会比较大,容易造成大量的运算;Spread值越小,网络逼近误差比较小,但网络的收敛速度较慢,泛化能力较差。目前,主流的确定最佳Spread值的方法是试凑法,即通过循环迭代的方法确定最优化的分布密度值。

### 2.2 子空间划分算法

为提高模型预测的精度,把整个颜色空间均匀划分成 $N \times N \times N$ 个子空间,见图1(划分成 $2 \times 2 \times 2$ 个子空间),并对每个子空间进行编号。在每个子空间中进行RBF神经网络的训练,并保存网络。对任意输入

驱动值首先通过搜索确定其所在的子空间,调用该子空间训练好的神经网络输出预测光谱反射值。

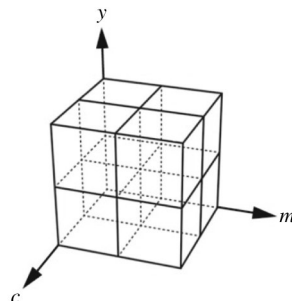


图1 子空间划分

Fig.1 Subspace partition

## 3 实验

### 3.1 样本获取

采用HP Designjet Z3200 Photo打印机打印 $c, m, y$ 按照网点面积率[0, 10%, 30%, 50%, 70%, 90%, 100%]排列组合成343个色块作为训练样本。 $c, m, y$ 网点面积率[0, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%]排列组合成216个色块作为检测样本。

### 3.2 样本测量

选用X-rite公司的分光光度计i1以及辅助装置机械臂iO作为测量设备,测量色块的光谱反射率,取400~700 nm范围内的光谱,间隔为10 nm,共31维。

### 3.3 神经网络建模

采用Matlab神经网络工具箱进行预测模型的建模。将打印机颜色空间分为8个子空间,每个子空间中各有64个训练样本,27个检测样本,以打印机驱动值RBF神经网络的输入变量,光谱反射率作为输出变量在每一个子空间中进行神经网络的训练和检测,设样本数为 $S$ ,输入变量矩阵表示为 $\mathbf{I}$ , $\mathbf{I}$ 表示一个 $M \times S$ 大小的矩阵, $M$ 为输入变量的维数,输出变量矩阵表示为 $\mathbf{O}$ ,矩阵 $\mathbf{O}$ 是一个 $N \times S$ 大小的矩阵, $N$ 表示输出变量的维数为31。

### 3.4 模型评价指标

以CIE2000色差( $D_{50}, 2^\circ$ )和光谱均方根误差RMSE评价预测的色度精度和光谱精度<sup>[14-15]</sup>。

## 4 结果与讨论

子空间划分前后 RBF 神经网络预测光谱的色度精度和光谱精度,分子空间的光谱平均色差、最大色差、平均光谱均方根误差、最大误差分别为 0.3662, 2.2587, 0.24%, 1.49%, 未分子空间的光谱平均色差、最大色差、平均光谱均方根误差、最大误差分别为 0.6948, 4.0160, 0.35%, 1.54%。利用累计相对频率方法对分区和未分区 RBF 神经网络预测光谱的色差进行统计得到的累计相对频率曲线见图 2。子空间划分 RBF 神经网络模型预测的色度精度和光谱精度都有明显提高,子空间划分 RBF 神经网络模型预测的最大色差小于 3,平均色差降低近 1/2。由图 1 色差的累计相对频率可知,子空间划分后的模型超过 90% 的样本色差分布在 0~1 之间,色差大于 2 的样本点减少 5% 左右,由此可知,子空间划分 RBF 神经网络模型的预测精度有明显提高,该模型用于打印机的光谱预测是可行的。

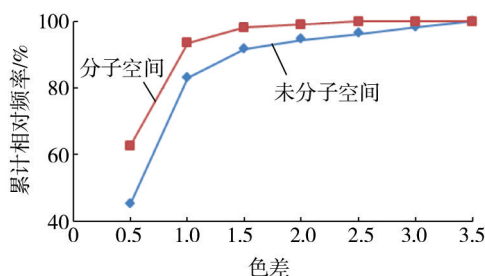


图2 色差的累计相对频率

Fig.2 The cumulative relative frequency of color difference

## 5 结语

在分析几种常用的光谱预测模型优缺点的基础上,认为 RBF 神经网络模型是一种高效稳定且具有较强非线性的颜色预测。文中采用 RBF 神经网络作为颜色预测的基本模型,针对训练样本较大时模型效率降低且预测精度较差的情况,将打印机颜色空间划分成若干个子空间,在每个子空间中运用 RBF 神经网络模型,实现了打印机驱动值到光谱反射率的转换,即打印机的光谱预测。该模型比未做子空间划分的预测模型在色度精度和光谱精度上有很大提高,能够实现高精度的光谱预测。

### 参考文献:

[1] 李金城. 色彩高保真复制的理论与实践[D]. 南京:南京林

业大学,2013.

LI Jin-cheng. Theory and Practice of High-fidelity Color Reproduction[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2013.

[2] LIU Qiang, WAN Xiao-xia, XIE De-hong. Optimization of Spectral Printer Modeling Based on a Modified Cellular Yule-Nielsen Spectral Neugebauer Model[J]. Journal of the Optical Society of America A, 2014, 31(6): 1284—1294.

[3] THOMAS B, ROGER D H. Recovering Neugebauer Colorant Reflectances and Ink-spreading Curves from Printed Color Images[J]. Color Research & Application, 2014, 39(3): 216—233.

[4] 张桢杰,刘真. 3种基于分区组介堡方程的分色算法的误差分析[J]. 包装工程,2012,33(15):88—91.

ZHANG Zhen-jie, LIU Zhen. Errors Analysis of Three Color Separation Algorithms Based on Subarea Neugebauer Equation [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 88—91.

[5] 王勇,徐海松. 基于多项式回归模型的扫描仪色度特征化 [J]. 光学学报,2007,27(6):1135—1138.

WANG Yong, XU Hai-song. Colorimetric Characterization for Scanner Based on Polynomial Regression Models[J]. Acta Optical Sinica, 2007, 27(6): 1135—1138.

[6] 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(1):93—95.

CHEN Jing, TANG Wan-you, WANG Xue-mei. Application Research of Polynomial Regression Algorithm on Printing Quality Detection[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 93—95.

[7] 陈奕艺,徐海松,张显斗. 基于数码相机的光谱重构研究 [J]. 光学学报,2009,29(5):1416—1419.

CHEN Yi-yi, XU Hai-song, ZHANG Xian-dou. Study of Spectral Reconstruction Based on Digital Camera[J]. Acta Optical Sinica, 2009, 29(5): 1416—1419.

[8] 刘攀,刘真,朱明. 基于最佳立方体细分的显示器颜色再现模型[J]. 包装工程,2014,35(13):128—132.

LIU Pan, LIU Zhen, ZHU Ming. Monitor Color Reproduction Model Based on Optimal Cube Subdivision[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 128—132.

[9] 邹文海,徐海松,王勇. 基于彩色扫描仪的图像光谱重构 [J]. 光学学报,2007,27(5):859—863.

ZOU Wen-hai, XU Hai-song, WANG Yong. Spectral Reconstruction of Images Based on Color Scanner[J]. Acta Optical Sinica, 2007, 27(5): 859—863.

[10] WANG Yong, XU Hai-song. Spectral Characterization of Scanner Based on PCA and BP ANN[J]. Chinese Optics Letters, 2005, 3(12): 725—728.

[11] 何颂华,张刚,陈桥,等. 基于BP神经网络的多基色打印机光谱特性化[J]. 包装工程,2014,35(13):110—115.

HE Song-hua, ZHANG Gang, CHEN Qiao. Spectral Charac

(下转第 129 页)

- Based on Machine Vision[D]. Guangzhou:Guangdong University of Technology, 2012.
- [5] 孙怀远,廖跃华,周夫之,等. 基于HALCON的药品包装瓶批号检测技术研究[D]. 上海:上海理工大学, 2008.
- SUN Huai-yuan, LIAO Yue-hua, ZHOU Fu-zhi, et al. Study on the Batch Detection Technology of Pharmaceutical Bottles Based on HALCON[D]. Shanghai: University of Shanghai for Science and Technology, 2008.
- [6] 尚会超. 印刷图像在线检测的算法研究与系统实现[D]. 武汉:华中科技大学, 2006.
- SHANG Hui-chao. The Study on Algorithm and System Implementation of Printing Image Online Detection[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006.
- [7] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital Image Processing[M]. 北京:电子工业出版社, 2007.
- GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital Image Processing[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.
- [8] HASHEMI S, SOHEILA K, NOROOZI N, et al. An Image Contrast Enhancement Method Based on Genetic Algorithm[J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 7(2): 1816—1824.
- [9] 刘苏阳,唐万有. 图像去噪在印刷品质量检测上的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(15): 83—86.
- LIU Su-yang, TANG Wan-you. Application of Image Denoising in Print Quality Detection[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(15): 83—86.
- [10] 王瑶,尤丽华,吴静静,等. 基于改进SIFT的图像快速自适应匹配算法[J]. 包装工程, 2014, 35(11): 96—99.
- WANG Yao, YOU Li-hua, WU Jing-jing, et al. Fast Adaptive Image Matching Algorithm Based on Improved SIFT[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11): 96—99.
- [11] CHEN C Y, DENG Q L, LIN B S, et al. Quartz-Blazed Grating Applied on Auto Stereoscopic Display[J]. Journal of Display Technology, 2012, 8(8): 433—438.
- [12] JOO D Y, YOUNGSHIN K, SEUNGJOON Y. Evaluation of Perceptual Resolution and Crosstalk in Stereoscopic Displays [J]. Journal of Display Technology, 2013, 9(2): 106—111.
- [13] STEGER C, ULRICH M, WIEDEMANN C, 等. 机器视觉算法与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.
- STEGE C, ULRICH M, WIEDEMANN C, et al. Machine Vision Algorithms and Applications[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
- [14] 张瑾,高军,付衍文. 一种基于改进动态阈值的缺陷提取算法[J]. 包装工程, 2012, 33(11): 107—111.
- ZHANG Jin, GAO Jun, FU Yan-wen. A Defect Extraction Algorithm Based on Improved Dynamic Threshold[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(11): 107—111.
- [15] SHI Rui-zhi, FAN Kai-bo, ZHOU Xiao, et al. Study on the Model of Chromaticity Closed-loop Control for Print Online Detection[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 262: 291—296.

(上接第124页)

- terization of Multicolor Printer Based on BP Neural Network [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 110—115.
- [12] 卓金武. MATLAB在数学建模中的应用[D]. 北京:北京航空航天大学, 2011.
- ZHUO Jin-wu. Application of MATLAB in Mathematical Modeling[D]. Beijing: Beihang University, 2011.
- [13] 周维华. RBF神经网络隐层结构与参数优化研究[D]. 上海:华东理工大学, 2013.
- ZHOU Wei-hua. Research of Hidden Layer Structure and Parameters Optimization of RBF Neural Network[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2013.
- [14] 万晓霞,易尧华. 全彩色遥感影像彩色合成效应的研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2002, 27(2): 203—207.
- WAN Xiao-xia, YI Yao-hua. Color Compound Domino Effect of True Color Remote Sensing Imagery[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2002, 27(2): 203—207.
- [15] 刘浩学. CIE均匀颜色空间与色差公式的应用[J]. 北京印刷学院学报, 2003, 11(3): 3—9.
- LIU Hao-xue. The Application of CIE Uniform Color Space and Its Color Difference Formula[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2003, 11(3): 3—9.