

基于BP神经网络的多基色打印机光谱特性化

何颂华¹, 张刚², 陈桥¹, 赵子琦²

(1. 深圳职业技术学院, 深圳 518000; 2. 曲阜师范大学, 日照 276800)

摘要: **目的** 实现多基色打印机的光谱特性化。**方法** 结合光谱降维和光谱重构方法建立了多基色打印机光谱特性化BP神经网络模型,并提出了基于人眼视觉特性加权的目标函数。**结果** 在基于BP神经网络的多基色打印机光谱特性化中,当目标函数未进行人眼视觉特性加权时,光谱精度和色度精度分别为0.0285和2.8614,当采用人眼视觉特性加权目标函数后,光谱精度和色度精度分别为0.0166和1.2247。**结论** 在基于BP神经网络的多基色打印机光谱特性化中,使用基于人眼视觉特性加权的目标函数可兼顾光谱与色度2个因素,其光谱特性化效果更优。

关键词: BP神经网络; 多基色打印机; 光谱特性化; 目标函数; 视觉特性加权

中图分类号: TS801.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)13-0110-06

Spectral Characterization of Multicolor Printer Based on BP Neural Network

HE Song-hua¹, ZHANG Gang², CHEN Qiao¹, ZHAO Zi-qi²

(1. Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518000, China; 2. Qufu Normal University, Rizhao 276800, China)

ABSTRACT: **Objective** To achieve the spectral characterization of multicolor printer. **Methods** Combining spectral dimensionality reduction and spectral reconstruction method, we built a BP neural network model for multi-color printer spectral characterization, and proposed an objective function based on human visual characteristics. **Results** In the multi-color printer spectral characterization based on BP neural network model, when the objective function was without human eye visual feature weighting, the spectral accuracy and chromaticity accuracy were 0.0284 and 2.8614, while the objective function employed human eye visual feature weighting, the spectral accuracy and chromaticity accuracy were 0.0166 and 1.2247, respectively. **Conclusion** In the spectral characterization of multicolor printer based on BP neural network, using objective function based on human eye visual feature weighting could cover both factors of spectrum and chromaticity, and its spectral characterization effect was better.

KEY WORDS: BP neural network; multicolor printer; spectral characterization; objective function; visual feature weighting

传统的印刷复制技术使用CMYK 4种油墨基色,其参与叠印的基色数量受限,颜色复制时又以LAB(XYZ)色度编码作为中间连接空间,必然会受到标准观察者和观察光源的影响,因此,是一种同色异谱的复制技术,即在视觉上相同的颜色(X,Y,Z刺激值完全

相同)所对应的光谱可能截然不同。为了获得更大的色域范围,出现了超4色的高保真印刷技术,但该技术仅解决了基色叠印数量受限的问题,仍无法获得同色同谱的颜色复制效果。近年来,随着多光谱和高光谱获取系统的出现,光谱图像的获取成为可能,光谱获

收稿日期: 2014-04-03

基金项目: 国家自然科学基金(61108087)

作者简介: 何颂华(1977—),男,四川人,博士,深圳职业技术学院副教授,主要研究方向为颜色科学与光谱图像处理。

通讯作者: 张刚(1988—),男,山东人,曲阜师范大学硕士研究生,主攻基于光谱的颜色复制。

取系统和多基色打印系统共同构成了基于光谱的颜色复制系统,在这样的系统中,首要任务是保证光谱传递的一致性,对于多基色打印机来说就是要完成打印机的光谱特性化。与传统打印机的色度特性化相比,高维的光谱数据与多基色油墨网点百分比之间的相互转化要比3维的色度数据与4色油墨网点百分比之间的相互转化复杂许多。

对于非线性复杂的打印设备,光谱值与设备值之间的转换多基于查找表进行,但建立这样的查找表一方面由于对应维数较大,导致查找表数据量成倍增加;另一方面其反向查找表即从光谱值到设备值的转换需要进行非线性优化,转化过程复杂且误差较大。针对以上问题,将以Epson Stylus Pro 9910为例,阐述基于BP神经网络^[1-5]的多基色打印机光谱特性化方法。

1 BP神经网络模型

BP神经网络是一种典型的多层前馈型神经网络,首先必须对该网络进行学习训练^[6-10],训练之前则需要输出并采集训练样本,样本中包括输入向量 $\mathbf{X}$ 以及相应的目标输出向量 $\mathbf{T}$,训练过程通过不断地调整权值和阈值,使得神经网络的表现函数达到最小,从而实现输入到输出任意非线性映射^[11-12]。BP神经网络的表现函数默认为神经网络输出向量 $\mathbf{Z}$ 和期望输出向量 $\mathbf{T}$ 的均方根误差。

BP神经网络算法的数学原理:假设3层BP网络,输入节点为 X_i ,隐层节点为 Y_j ,输出节点为 Z_l 。其中输入节点与隐层节点的网络权值为 w_{ji} ,隐层节点与输出节点间的网络权值为 v_{lj} 。BP神经网络模型见图1。

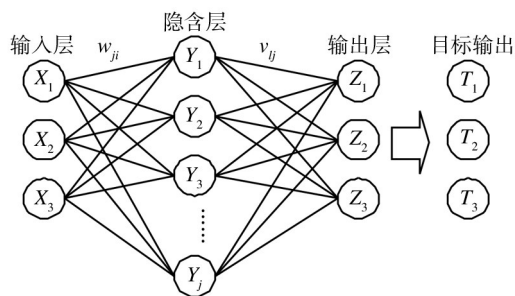


图1 BP神经网络模型

Fig.1 BP neural network model

2 建立多基色打印机光谱特性化的BP神经网络模型

用于颜色复制的光谱反射率最少维度为31维(在400~700 nm之间每隔10 nm进行采样),因此,光谱数据是一个31维的空间,这相对于ICC的3维CIE XYZ来说是一个高维空间。无论是多基色打印机的正向光谱特性化,还是反向光谱特性化,直接使用这个31维的光谱数据作为BP神经网络模型的输入层和输出层,会使得神经网络训练次数剧增,误差较大。因此,引入高维光谱信息降维的方法,将31维光谱数据降维至低维光谱空间,再进行BP神经网络运算。

2.1 用于光谱特性化的BP神经网络模型

经由打印机打印输出并采集获得31维期望输出的光谱反射率,可以得到6维网点百分比到31维光谱反射率的映射。考虑到高维映射不适用于BP神经网络作特性化,使用降维方式将31维的期望输出光谱反射率降维至6维低维光谱空间,从而得到6维映射,此映射用作BP神经网络的训练样本。通过不断修正神经网络权值与阈值使得重构的网络输出光谱反射率与期望目标输出的光谱反射率在一定的误差范围内,模型见图2—3。

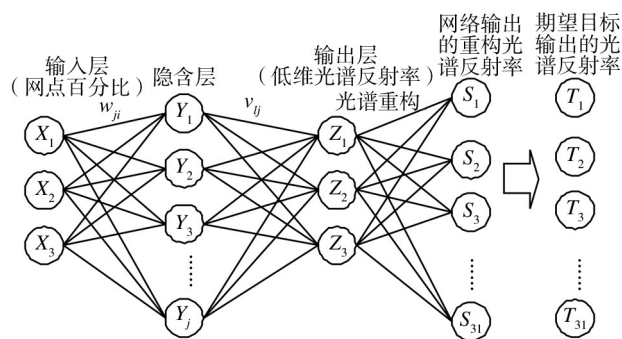


图2 用于正向光谱特性化的BP神经网络模型

Fig.2 BP neural network model for forward spectral characterization

2.2 用于光谱特性化的正反向BP神经网络算法流程

基于BP神经网络的正向光谱特性化得到的是低维光谱数据,不能直接用于光谱精度和色度精度的误差判断,需要将低维光谱数据重构成31维光谱数据;

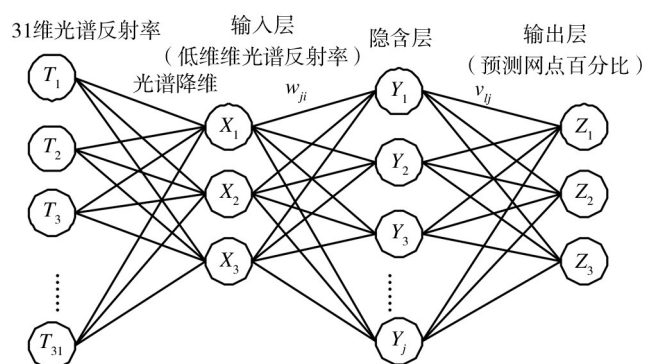


图3 用于反向光谱特性化的BP神经网络模型

Fig.3 BP neural network model for reverse spectral characterization

同时,反向光谱特性化得到的是多基色打印机空间的网点百分比数据,该数据也不能直接与目标值进行比较,必须借助已建立的正向BP神经网络得到其对应的31维光谱数据再与目标光谱值进行比较。用于正向和反向的光谱特性化的BP神经网络算法流程分别见图4和图5。

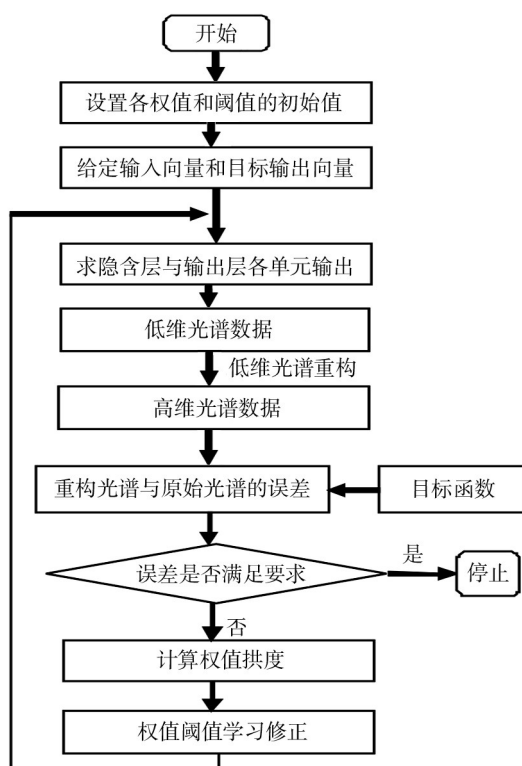


图4 用于正向光谱特性化的BP神经网络算法流程

Fig.4 BP neural network algorithm processes for forward spectral characterization

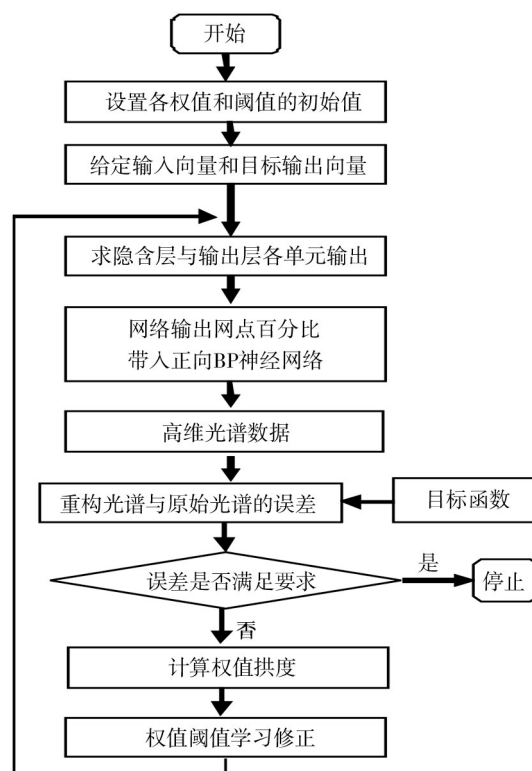


图5 用于反向光谱特性化的BP神经网络算法流程

Fig.5 BP neural network algorithm processes for reverse spectral characterization

3 打印机光谱特性化BP神经网络模型中最优化目标函数的确定

在用于正、反向光谱特性化的BP神经网络算法流程中目标函数的确定非常关键,这会影响到光谱预测的精度。在已有的相关研究中,大多是从光谱均方根误差以及色差两个方法单独或者组合实现,如Lawrence Taplin^[13]首先使用光谱均方根误差 $sRMS_{obj}$ 作为预测光谱与复制光谱之间差别的判断依据,见式(1):

$$sRMS_{obj} = \sqrt{\frac{\sum_{\lambda=400}^{700} (r - \hat{r})^2}{31}} \quad (1)$$

式中: r 为复制光谱反射率; $\hat{r}$ 为预测光谱反射率; λ 为波长; 31 为波长维数。由于其构造的最优化目标函数仅考虑了光谱方面误差,反映的是光谱曲线之间的差别,是一个客观物理量,并没有考虑人眼视觉系统的特性,因此无法保证色度方面也达到很高的

精度。如何在构建目标函数时,既在色度和光谱两方面均能保持较好匹配,又充分考虑人眼视觉系统的特性问题,章正夫提出了加权的sRMS(即WsRMS),其建立权重依据的是人眼视觉系统对暗色调颜色的不匹配比亮色调颜色的不匹配更敏感,由此,相比光谱反射率小的波段给予光谱反射率值大的波段较大的权重,公式见式(2):

$$WsRMS_{obj} = \sqrt{\frac{\sum_{\lambda=400}^{700} (\sqrt{w(\lambda)}(r - \hat{r}))^2}{31}} \quad (2)$$

式中, $w(\lambda) = \frac{1}{r}$ 。这里, $w(\lambda)$ 为权重值,该权重值的计算由光谱反射率取倒数得到,反映的是人眼视觉系统对暗色调颜色的不匹配比亮色调颜色的不匹配更敏感,暗色调颜色光谱反射率低,其权重值由于是其反射率的倒数,因此权重值高;亮色调颜色光谱反射率,其权重值则低。这样通过对2个光谱之间的差值加权的方法虽然在一定程度上考虑了人眼视觉系统在亮度变化上的特性,但权重值 $w(\lambda)$ 的计算依据物理意义不明确,并且没有全面考虑人眼视觉的特性,除了亮度特性外,还有色度特性。

根据颜色视觉理论,在人眼的视网膜上有L-, M-, S-等3种视锥细胞,在视觉信号通过视觉通路向大脑传递时,如果能保证人眼视网膜上3种类型的锥体细胞对2个颜色刺激的响应相同,则可确保2个颜色刺激在变光源下的视觉匹配。在综合考虑人眼3种视锥响应对光谱响应的基础上,提出新的基于人眼视觉特性加权的sRMS(即EsRMS),公式见式(3):

$$EsRMS_{obj} = \sqrt{\frac{\sum_{\lambda=400}^{700} (E(r - \hat{r}))^2}{31}} \quad (3)$$

其中, $E = (L^2 + M^2 + S^2)^{1/2}$, L, M, S 为视锥响应灵敏度矢量的对角阵形式,加权矩阵 E 也是一个 31×31 维的对角阵。这样,预测光谱 $\hat{r}$ 可达到与要复制光谱反射率在视锥响应下的最佳近似,从而提高2个光谱之间的颜色匹配度。

为了进一步提高光谱的匹配精度,在构建最终的最优化目标函数时,同时将表征2光谱形状差异的物理量光谱均方根误差作为目标函数的一部分,构建的最优化目标函数为:

$$F(\hat{r}, r) = sRMS + WsRMS \quad (4)$$

即:

$$F(\hat{r}, r) = \sqrt{\frac{\sum_{\lambda=400}^{700} ((r - \hat{r}))^2}{31}} + \sqrt{\frac{\sum_{\lambda=400}^{700} (E(r - \hat{r}))^2}{31}}$$

如果用矩阵范数表示,可将最优化目标函数 $F(\hat{r}, r)$ 写为:

$$F(\hat{r}, r) = \|P - \hat{P}\|_2^2 + \|E(P - \hat{P})\|_2^2 \quad (5)$$

式中: $\|\cdot\|_2^2$ 为矩阵的2-范数。

这样所构成的目标函数既能保证光谱匹配精度,又能保证在变光源下的光谱匹配,尽量减小同色异谱的颜色匹配影响。式(5)为BP神经网络的最优化目标函数,可以实现基于人眼视觉特性加权的BP神经网络输入到输出的非线性映射。

4 实验结果与分析

实验生成神经网络训练样本,所采用的打印输出设备为11色的Epson Stylus Pro 9910打印机,仅使用其中的6个墨色用来输出,考虑到纸张对于油墨的吸收能力^[14]是有限的,为了避免过多的油墨转移到纸张上引起各种打印问题^[15],需要对相应的单通道进行最大墨量限制;同时,光谱特性化过程中需要对每个通道进行精准的墨量控制。由此,使用ONYX ProductionHouse 10.2软件输出6原色的油墨梯尺^[16],通过测量并结合观察,确定单通道的最大墨量。另外,设置其余未使用5通道的墨量为0,对其余6通道结合Tiff文件精准地控制相应通道的墨量输出。为了构建31维光谱数据与多基色打印机油墨百分比的映射,通过Photoshop软件创建CMYKOG 6通道Tiff文件,每个通道取值分别为100%, 75%, 50%, 25%和0,可以得到15 625个色块组合,将该15 625个色块组合的Tiff文件经由ONYX ProductionHouse 10.2软件RIP并打印输出。之后,使用SpectroEye分光光度计分别测量每个色块的光谱反射率 $R_{\lambda, m}$, 由于每个色块都是6通道,每个通道取值100%, 75%, 50%, 25%和0,得到了6通道油墨百分比到对应31维光谱数据的映射。

通过基于光谱的BP神经网络与基于人眼视觉特性的BP神经网络,可以得到这2种网络的光谱输出与样本光谱输出的对比图(见图6—9),进而可以计算得到各方法网络输出的目标函数误差精度,见表1—2。

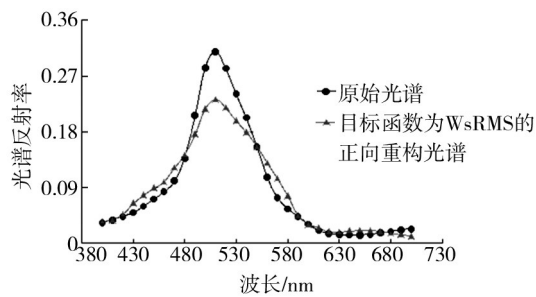


图6 正向目标函数为WsRMS的光谱

Fig.6 The spectrum of WsRMS forward objective function

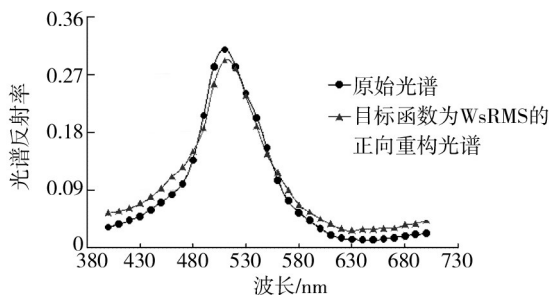


图7 正向目标函数为EsRMS的光谱

Fig.7 The spectrum of EsRMS forward objective function

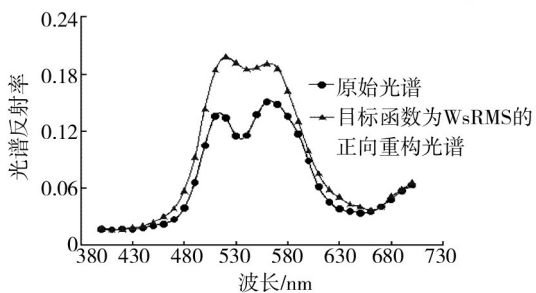


图8 反向目标函数为WsRMS的光谱

Fig.8 The spectrum of WsRMS reverse objective function

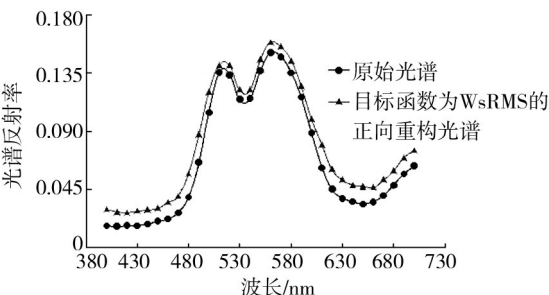


图9 反向目标函数为EsRMS的光谱

Fig.9 The spectrum of EsRMS reverse objective function

表1 两种目标函数特性化光谱精度比较

Tab.1 Spectral accuracy comparison of two objective functions

光谱特性化BP神经网络算法的目标函数	平均	最大	最小
WsRMS(正向特征化)	0.0285	0.1382	0.0038
EsRMS(正向特征化)	0.0166	0.1057	0.0024
WsRMS(反向特征化)	0.0178	0.1836	0.0010
EsRMS(反向特征化)	0.0120	0.1790	0.0005

表2 两种目标函数色度精度比较(D50 2° 观察者)

Tab.2 Chromaticity accuracy comparison of two objective functions (D50 2° observer)

光谱特性化BP神经网络算法的目标函数	平均	最大	最小
WsRMS(正向特征化)	2.8614	8.6269	0.1267
EsRMS(正向特征化)	1.2247	4.1545	0.0291
WsRMS(反向特征化)	2.2687	9.1582	0.1075
EsRMS(反向特征化)	1.0684	5.9425	0.0313

由图6—9和表1—2数据,可以分析得出使用目标函数为WsRMS和EsRMS的2种BP神经网络算法都可以实现多基色打印机的光谱特性化,但是笔者提出的基于人眼视觉特性加权的BP神经网络兼顾了光谱以及人眼视觉特性的匹配精度,比使用目标函数为光谱均方根误差WsRMS的BP神经网络算法的误差更小、精度更高。

5 结语

基于光谱的BP神经网络光谱特性化具有很强的非线性映射能力,对于非线性的数据样本能够很好地找到其内部关系。基于人眼视觉特性加权的BP神经网络则加入了人眼视觉系统对于色彩的感知原理,兼顾了光谱以及人眼视觉特性2个因素,更加准确地实现了多基色打印机的光谱特性化。

参考文献:

[1] HENRY R K. Neural Network Applications to the Color Scanner and Printer Calibration[J]. Journal of Electronic Imaging, 1992, 1(12): 125—135.

[2] SCHETTINI R, BAROLO B, BOLDRIN E. Colorimetric Calibration of Color Scanners by back Propagation[J]. Pattern Rec-

- ognition Letters, 1995, 16(10): 1051—1056.
- [3] TRUSSELL H J. Color Scanner Calibration Via a Neural Network[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. 1999: 3465—3468.
- [4] CHANG Po-rong, CHANG Chih-chuang. Color Correction for Scanner and Printer using B-spline CMAC[C]//Proceedings of IEEE, Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems, 1994: 24—28.
- [5] SHIRO H, YOSHIFUMIA. Neural Networks for Device-independent Digital color Imaging[J]. Information Science, 2000, 123(12): 115—125.
- [6] LOLAS S, OLATUNBOSUN O A. Prediction of Vehicle Reliability Performance using Artificial Neural Networks[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34: 2360—2369.
- [7] JUANG C F. Dynamic Programming Prediction Errors of Recurrent Neural Fuzzy Networks[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 10: 1016—1023.
- [8] LIN C J. Pattern Pecognition Using Neural-fuzzy Networks Based on Improved Particle[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 110(10): 1016—1027.
- [9] MA Hai-bo, ZHANG Li-guo, CHEN Yang-zhou. Recurrent Neural Network for Vehicle Dead-reckoning[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2008, 19(2): 351—355.
- [10] PATRICK P. Minimisation Method for Training Feed forward Neural Network[J]. Neural Network, 1994(7): 145—163.
- [11] ZHANG Zhi-guo. Learning Algorithm of Wavelet Network based on Sampling Theory[J]. Neurocomputing, 2007, 71: 244—269.
- [12] YAO Zhi-hong, MINRUI Fei, KANG Li. Recognition of Blue-green Algae in Lakes Using Distributive Genetic Algorithm-based Neural Networks[J]. Neurocomputing, 2007, 70: 641—647.
- [13] LAWRENCE A. Spectral Modeling of a Six-Color Inkjet Printer [D]. New York: University of Rochester Institute and Technology, 2001.
- [14] 朱慧. 纸张性能与印刷适性关系的建模研究[J]. 包装工程, 2012, 33(19): 117—121.
- ZHU Hui. Research on Relationship Between Paper Properties and Printability[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(19): 117—121.
- [15] TZENG Di-Yuan. Spectral-Based color Separation Algorithm Development for Multiple-Ink Color Reproduction[D]. New York: University of Rochester Institute and Technology, 1999.
- [16] 赵晨飞, 韩卿, 邹晨, 等. 尤尔-尼尔森光谱组介堡模型中修正指数的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 113—115.
- ZHAO Chen-fei, HAN Qing, ZOU Chen, et al. Research on Correction Factor of Yule-Nielsen Spectral Neugebauer Model [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 113—115.

(上接第99页)

- Affect Photoresist Profile on Developable Bottom Anti-reflection Coating Process[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2011, 7972: 256—258.
- [10] 李如虎. 全自动柚子包装生产线的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- LI Ru-hu. Research of Full-automatic Packaging Production Line for Pomeles[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011.
- [11] 戴南燕. 弹簧的表面处理[J]. 国外汽车, 1979(5): 47—49.
- DAI Nan-yan. Surface Treatment of Spring[J]. Foreign Car, 1979(5): 47—49.
- [12] 洪亮. 拉伸包装技术[J]. 包装工程, 2008, 29(7): 205—207.
- HONG Liang. Analysis of Stretch Packaging Technology[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(7): 205—207.
- [13] 李梦奇, 谢志江. 基于市场供应的包装机械模块化设计[J]. 包装工程, 2008, 29(9): 119—122.
- LI Meng-qi, XIE Zhi-jang. Modular Design of Packaging Machinery Based on Market Supply[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 119—122.
- [14] 黄俊彦, 崔立华. 热收缩包装技术及其发展[J]. 包装工程, 2005, 26(3): 59—62.
- HUANG Jun-yan, CUI Li-hua. The Technology and Development of Heat Shrink Packaging[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(3): 59—62.
- [15] 洪亮, 苗洪涛. 收缩包装技术探析[J]. 包装工程, 2008, 29(6): 211—213.
- HONG Liang, MIAO Hong-tao. Analysis of the Shrink Packaging Technology[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6): 211—213.