

# BP 神经网络在产品配色中的应用研究

胡志刚, 吕娜, 乔现玲, 王卉  
(陕西科技大学, 西安 710021)

**摘要:** **目的** 实现产品配色设计的自动化。**方法** 以感性工学为理论基础, 采用神经网络为关键技术来研究产品配色。首先确定产品色彩的感性词汇与色彩设计要素, 然后利用 BP 神经网络模型建立色彩编码与感性意象评价值之间的关系, 最后结合豆浆机实例, 设置 BP 模型中的输入层、输出层、隐含层的相关参数来进行豆浆机配色感性意象设计的实验仿真。**结果** 测试验证了 BP 神经网络在产品配色设计中应用的有效性。**结论** 表明了产品感性意象与产品配色之间的关系, 论证了利用 BP 神经网络建立产品配色辅助设计系统的可行性。

**关键词:** 产品配色设计; 感性工学; BP 神经网络

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)10-0136-06

## Application of BP Neural Network in Product Color-matched Design

HU Zhi-gang, LYU Na, QIAO Xian-ling, WANG Hui  
(Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

**ABSTRACT:** It realizes the automation of product color matching design. It takes the kansei engineer as the theoretical foundation, uses the neural network as the key technology to study the product color-matched. The pairs of the kansei vocabulary of product color and color design elements are first determined, and then the BP neural network model is used to establish the relationship between the color encoding and the kansei image evaluation value. Finally, combined with the product of the soya bean milk machine, through setting parameters in the input layer, the output layer, and the hidden layer of the BP model, the kansei image of the product color design experiments are did with practical simulations. The validity of the model is verified by testing. The experimental result indicates the relationship between the kansei image and the color of the product clearly, and demonstrates the feasibility of constructing a system of product color-matched aided design on the bases of BP neural network.

**KEY WORDS:** product color-matched design; kansei engineer; BP neural network

伴随科技和时代的进步, 市场竞争日趋激烈, 产品的外观和形式在用户传递交流信息的过程中起着非常重要的作用。在确定产品的外观和消费者的反应中, 色彩成为了一个关键因素, 具有强烈的设计美学价值<sup>[1-6]</sup>。在研究产品色彩搭配的过程中, 大

量研究发现影响产品色彩搭配的因素有很多, 如色彩的面积比, 产品的材质等<sup>[7]</sup>, 色彩的感性意象具有很大的不确定性, 很难对其进行准确掌握与评价<sup>[8-9]</sup>。现今比较常见的研究产品感性意象和设计要素的关联方法有数量化一类、人工神经网络、模糊神经网络

收稿日期: 2016-01-06

基金项目: 陕西省科学技术研究发展计划项目(2015GY179); 陕西省科学技术研究发展计划项目(2014KE050049); 陕西省咸阳市科学技术研究计划项目(2014K03-14)

作者简介: 胡志刚(1977—), 男, 浙江人, 博士生, 陕西科技大学硕士生导师、副教授, 主要研究方向为工业设计创新服务平台、应用人机工程学。

等<sup>[10]</sup>，其中，神经网络具有很强的非线性函数逼近能力、自适应学习能力、容错能力和并行信息处理能力，非常适用于建立这两者之间的关系<sup>[11]</sup>。Shih-Wen 等人<sup>[12]</sup>采用 BP 神经网络分析，建立了产品参数和感性意象词汇之间的关系，构建了设计元素、产品图像和形状生成规则之间的数据库。孙菁等人<sup>[13]</sup>运用倒传递类神经网络学习的特性，模拟了配色意象评价模式来搜寻最符合需求意象的电话计费器的配色组合。通过 BP 神经网络建立感性意象与产品配色之间的关系，为之后 CAD 系统的开发提供条件，从而帮助设计师准确地把握消费者意象偏好与色彩搭配之间的关系，将其转化为产品的生产色彩。

## 1 神经网络产品配色模型

根据 BP 神经网络的特点和相关技术，建立 BP 神经网络产品配色模型，见图 1。

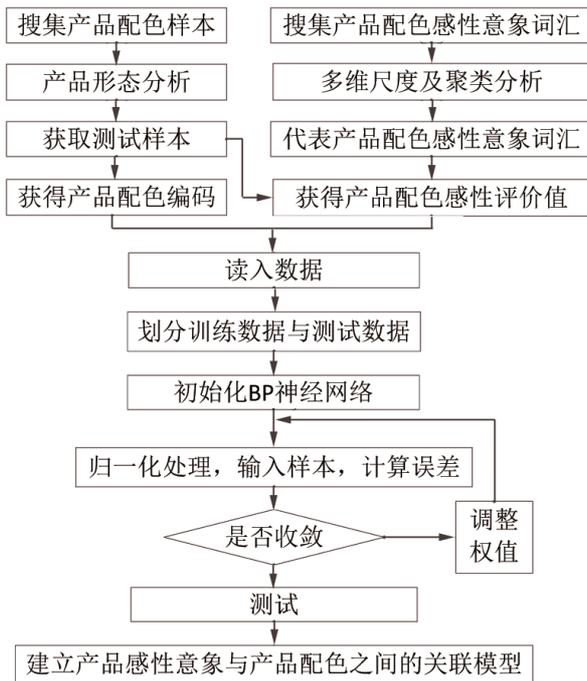


图 1 BP 神经网络产品配色模型

Fig.1 The model of BP neural network about the product color-matched

## 2 BP 神经网络产品配色方法研究

### 2.1 确定产品配色编码

通过对产品配色样本的分析得出配色方案，其中包括配色色彩数目、色彩值以及色彩所占面积比

例的大小。根据实际问题采用 RGB 色彩模式，任何色彩都可以通过 RGB 值在 0~255 间变化产生，同时，这也是设计师进行电脑配色时的基础色彩模式<sup>[6]</sup>。根据样本所出现的色彩数目以及每种色彩所占的面积比例大小，对产品的色彩样本进行编码，用  $C_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ ) 来表示产品的色彩样本编码矩阵，如式 1，其中，该产品共有  $n$  个配色样本，每个方案有  $m$  种色彩，并按照色彩所占面积比例递减排列。

$$C_{ij} = \begin{bmatrix} R_{01} & G_{01} & B_{01} & R_{02} & G_{02} & B_{02} & \dots & R_{0m} & G_{0m} & B_{0m} \\ R_{11} & G_{11} & B_{11} & R_{12} & G_{12} & B_{12} & \dots & R_{1m} & G_{1m} & B_{1m} \\ \vdots & \vdots \\ R_{n1} & G_{n1} & B_{n1} & R_{n2} & G_{n2} & B_{n2} & \dots & R_{nm} & G_{nm} & B_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

### 2.2 产品配色样本感性评价

感性意象词汇对是指使用多对相对、反义形容词对，从不同的角度（或称维度）来度量“意象”这个模糊的心理概念<sup>[14]</sup>。首先，利用调查问卷法、聚类分析法和多维尺度分析法得出代表感性意象词汇  $q$  对，其次，利用李克特量表法，对得到的  $n$  个配色样本进行打分，求取平均值  $\bar{M}$ ，用  $V_{ik}$  ( $i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, q$ ) 表示产品配色感性意象评价矩阵，如式 2。

$$V_{ik} = \begin{bmatrix} \bar{M}_{11} & \bar{M}_{12} & \dots & \bar{M}_{1q} \\ \bar{M}_{21} & \bar{M}_{22} & \dots & \bar{M}_{2q} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{M}_{n1} & \bar{M}_{n2} & \dots & \bar{M}_{nq} \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 2.3 初始化 BP 神经网络

设产品配色样本有  $n$  个，构成产品的色彩有  $m$  个，色彩样本的编码矩阵  $C_{ij}$  作为训练用的输入矩阵。感性意象词汇对有  $q$  对，感性意象词汇对的评价矩阵  $V_{ik}$  作为训练用的输出矩阵。对输入和输出矩阵，选取 (0, 1) 内连续取值的 sigmoid 函数为刺激函数，即反应下层输入对上层节点刺激脉冲强度的函数，来初始化 BP 神经网络模型，sigmoid 函数如式 3。

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

通过神经网络的不断学习训练，网络的输出误差减少到可以接受的程度便可以对未知数据进行预测。

### 2.4 BP 神经网络实验程序及结果

实验程序在 Matlab 2014a 软件运行，在设定的

参数和输入输出条件下,可得到理想的结果与数据。

### 3 BP神经网络模型的仿真实验

#### 3.1 设计要素的确定

##### 3.1.1 产品形态解构与配色样本设定

收集各类豆浆机的图片 112 张,剔除色彩搭配相同的图片,最终获得色彩搭配图片共计 60 张。由 4 位从事工业设计多年的设计师利用形态分析法进行分析归纳,发现豆浆机的形态分类主要可分为提手、机盖、机身、机底和把手。家电产品豆浆机的形态分析见图 2,豆浆机的色彩由两色构成。将 60 张配色图片赋予统一的豆浆机形态并对其进行调查统计,最终获得大众满意的双色色彩搭配图片 40 张。配色样本图片见图 3。实验中将编号 1~35 的图片作为训练图片,编号 36~40 的图片作为测试图片。



图 2 家电产品豆浆机的形态分析

Fig.2 Morphological analysis of soybean milk machine



图 3 配色样本图片

Fig.3 Color-matched sample images

##### 3.1.2 代表感性词汇对选取

通过多渠道搜集描述家电产品色彩的感性意象词汇对并进行初步筛选,经多维尺度分析<sup>[15]</sup>及聚类分析<sup>[16]</sup>,获取 5 对代表感性意象词汇对,分别为亲和—冷酷、豪华—朴素、复古—新潮、休闲—商务、稳重—活泼。

##### 3.1.3 调查问卷设计

利用 E-prime2.0 软件将 40 张豆浆机配色图片制作成刺激程序作为问卷进行实验。选取 8 名工业设计

专业在校研究生,6 名从事工业设计多年的专家,6 名消费者参加实验。对选出的代表感性意象的词汇对,将七分李克特量表法应用到豆浆机双色配色图片的打分中,对量表中每一张图片均给出表示态度积极程度等级的 7 种备选评语答案<sup>[17]</sup>。

#### 3.2 建立 BP 神经网络模型

##### 3.2.1 编码

将豆浆机的配色色彩作为豆浆机的变量,因为豆浆机为双色配色产品,所以具有两个变量。选取 RGB 值为每个变量的属性值并为豆浆机配色属性编码。

##### 3.2.2 网络构建

以 BP 神经网络来模拟受测者如何评价不同配色排列的配色意象,此网络包括 3 层,即输入层、隐含层与输出层。豆浆机配色意象神经网络模型见图 4。

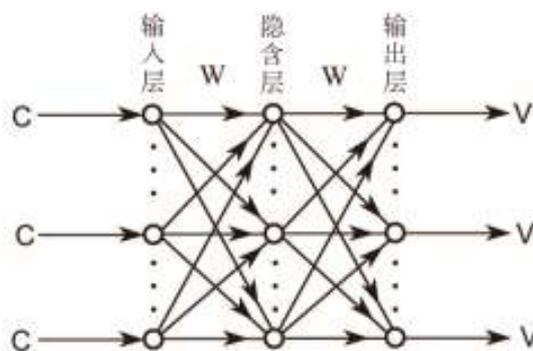


图 4 豆浆机配色意象神经网络模型

Fig.4 Neural network model for color image of soybean milk machine

##### 3.2.3 输入层

输入层为豆浆机产品配色属性编码矩阵  $C_s$ 。豆浆机配色属性值见表 1,以 1~10 号为例。

##### 3.2.4 输出层

对利用李克特量表法得到的结果进行统计分析求平均值  $\bar{M}$ ,建立感性意象评价矩阵  $V_s$  作为输出层。豆浆机感性意象评价价值见表 2,以 1~10 号为例。亲和—冷酷、豪华—朴素、复古—新潮、休闲—商务、稳重—活泼编号分别为 A, B, C, D, E。

##### 3.2.5 隐含层

隐含层节点数对 BP 网络的性能有很大影响,一般由 Komogorov 定理决定。对于任意连续函数,其网络第一层有  $m$  个单元,则中间层就有  $2m+1$  个单元。在豆浆机的配色研究中,网络的第一层有 6 个元素,分别是 R1, G1, B1, R2, G2, B2, 因此  $m=6$ ,本中间隐含层神经元的个数为  $2m+1=13$  个。

表 1 豆浆机配色属性值  
Tab.1 Color attribute value of soybean milk machine

序号	主色 RGB 值			配色 RGB 值			序号	主色 RGB 值			配色 RGB 值		
	R1	G1	B1	R2	G2	R2		R1	G1	B1	R2	G2	B2
1	52	150	159	225	208	182	6	211	211	211	72	253	88
2	168	168	168	161	33	48	7	0	0	0	192	195	228
3	215	211	208	250	154	34	8	238	227	221	235	88	44
4	234	234	234	134	122	100	9	217	215	220	148	197	255
5	226	226	226	38	103	183	10	217	216	222	233	162	176

表 2 豆浆机感性意象评价价值  
Tab.2 Evaluation value of emotional image of soybean milk machine

序号	感性意象词汇评价价值					序号	感性意象词汇评价价值				
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
1	4.2	4	4.3	3.1	3.8	6	4.7	4.1	4.8	3	4.2
2	3.1	4.3	4.9	3.4	4.1	7	6.7	4.3	5.2	5.6	3.5
3	2.4	4.3	5	2.5	4.7	8	3.2	4.7	5.4	3.1	4.4
4	5.1	4.2	4.2	5.1	3	9	3.2	4.5	5.7	3.1	4.3
5	5.4	4	4.4	4.5	3.9	10	1.9	4.5	5.8	2.3	4.2

### 3.2.6 相关参数设定

隐含层采用 Sigmoid 正切函数运算,验证输出层使用 Sigmoid 对数函数进行运算,选用 traingdx 使用 Sigmoid 对数函数进行运算,选用 traingdx 函数作为训练函数,即使用动量梯度下降算法训练 BP 神经网络<sup>[18]</sup>。在训练过程中,为达到学习效果与学习时间的平衡,实验设定学习速率为 0.001,训练次数为 1000。

### 3.2.7 实验运行结果

实验程序在 Matlab 2014a 软件运行,在设定的参数和输入输出条件下,得到了理想的结果。Matlab 运行结果见图 5。

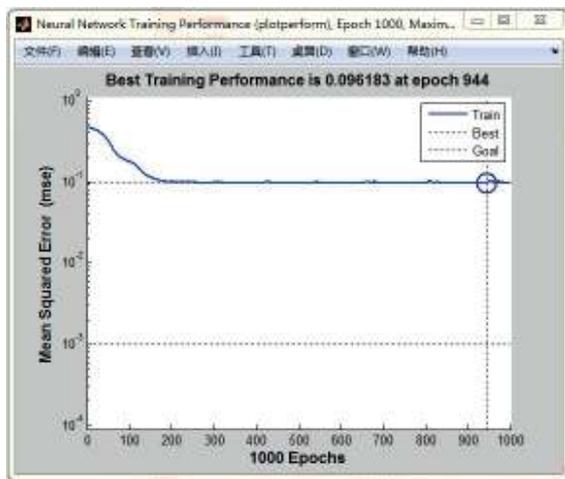


图 5 Matlab 运行结果

Fig.5 Running result of Matlab

## 4 实验结果的验证

标准差 MSE 可以当作不确定性的一种测量。做重复性测量时,测量数值集合的标准差代表这些测量的精确度。假设有一组数为  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ , 其算数平均值为  $\mu$ , 则 MSE 计算公式如式 4。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (4)$$

可用其来评估实验结果的正误,当  $\sigma \leq 0.01$  时,结果表示在允许误差范围内。实验结果验证见表 3, 1~5 为第 36~40 图片的主观测评数据和网络测算数据(归一化后)。实验结果证明了利用 BP 神经网络建立产品感性意象与产品配色之间关联模型的可行性。

## 5 结语

以感性工学为理论基础,以 BP 神经网络为关键技术,对产品的配色设计进行研究,并以豆浆机的配色设计为例,过程中先选取代表产品的意象感性词汇对,确定产品配色设计编码以及获得产品的感性意象评价价值,在此基础上建立产品配色与感性意象之间的 BP 神经网络关联模型,并通过测试证明主观打分与神经网络打分具有一致性,验证了 BP 模型的有效性,可以以此为基础构建产品配色的计算机

表 3 实验结果验证  
Tab.3 Experimental result verification

词汇对	类别	1	2	3	4	5	MSE
亲和—冷酷	主观测评	0.9672	1.0000	0.0161	0.0533	0.0743	0.0036 ≤ 0.01
	网络测算	0.9563	0.9995	0.0176	0.0569	0.0776	
	差值	0.0109	0.0005	0.0015	0.0036	0.0033	
豪华—朴素	主观测评	0.1500	0.8667	0.0410	0.0003	0.0041	0.0041 ≤ 0.01
	网络测算	0.1609	0.8694	0.0418	0.0004	0.0034	
	差值	0.0109	0.0027	0.0002	0.0001	0.0007	
复古—新潮	主观测评	0.0384	0.3003	0.0356	0.6378	0.9229	0.0097 ≤ 0.01
	网络测算	0.0412	0.2960	0.0341	0.6638	0.9405	
	差值	0.0028	0.0043	0.0015	0.0260	0.0176	
休闲—商务	主观测评	0.0029	0.9767	1.0000	0.1356	0.6386	0.0075 ≤ 0.01
	网络测算	0.0024	0.9927	0.9765	0.1210	0.6275	
	差值	0.0005	0.016	0.0235	0.0146	0.0111	
稳重—活泼	主观测评	0.0007	0.0002	0.0022	0.0002	0.0040	0.0003 ≤ 0.01
	网络测算	0.0008	0.0001	0.0023	0.0001	0.0032	
	差值	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0008	

辅助设计系统。

今后，该系统应在实验和训练的基础上不断改进网络结构，弥补传统算法的不足，提高网络的泛化能力。将遗传算法、蚁群算法、粒子群算法等引入到本研究中，会取得更加理想的效果。

参考文献：

[1] 饶简元网页的色彩认知与构建[J].艺术评论, 2011(6): 107—110.  
RAO Jian-yuan.Color Perception and Construction of Web Pages[J].Arts Criticism, 2011(6): 107—110.

[2] 胡荣奎.谈旅游商品包装设计中独特的色彩文化[J].装饰, 2011(3): 137—138.  
HU Rong-kui.On the Unique Color Culture of Packaging Design in Tourist Commodities[J].Zhuangshi, 2011(3): 137—138.

[3] 张寒凝, 许继峰, 崔天剑.现代家具色彩意象语义的认知分析[J].艺术百家, 2011(S2): 89—93.  
ZHANG Han-ning, XU Ji-feng, CUI Tian-jian.Semantic Meaning of Modern Furniture Color[J].Hundred Schools in Arts, 2011(S2): 89—93.

[4] 邵奇, 刘琦君, 江洋.色彩在日用瓷设计中的运用[J].文艺争鸣, 2010(14): 165—166.  
SHAO Qi, LIU Qi-jun, JIANG Yang. Application of Color in the Design of Daily Use Porcelain[J].Literature Contend, 2010(14): 165—166.

[5] 张艳河, 杨颖, 罗仕鉴, 等.产品设计中用户感知意象

的思维结构[J].机械工程学报, 2010, 46(2): 178—184.  
ZHANG Yan-he, YANG Ying, LUO Shi-jian, et al.Mental Construction of User Perception Image in Product Design[J].Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(2): 178—184.

[6] TSAIA H C, CHOUB J R. Automatic Design Support and Image Evaluation of Two-coloured Products Using Color Association and Color Harmony Scales and Genetic Algorithm[J].Computer-Aided Design, 2007, 39(9): 818—828.

[7] 丁满, 孙伟, 徐江, 等.考虑色彩意象不明确的产品色彩模糊优化设计[J].机械工程学报, 2011, 47(12): 185—190.  
DING Man, SUN Wei, XU Jiang, et al.Product Color Fuzzy Optimum Design Considering Color Image Uncertainty[J].Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(12): 185—190.

[8] 王汀, 赵锋, 邓晗.工业产品的色彩设计特征[J].西北大学学报(哲学社会科学版), 2010, 40(2).  
WANG Ting, ZHAO Feng, DENG Han.The Features of Color Design of Industrial Design[J].Journal of Northwest University(Philosophy and Social Sciences Edition), 2010, 40(2).

[9] 卢章平, 顾青青, 李明珠, 等.汽车车身色彩意象认知研究[J].包装工程, 2014, 35(20): 20—24.  
LU Zhang-ping, GU Qing-qing, LI Ming-zhu, et al.Image Cognition of Automobile Color[J].Packaging Engineering, 2014, 35(20): 20—24.

[10] 苏建宁, 王鹏, 张书涛, 等.产品意象造型设计关键技术研究进展[J].机械设计, 2013, 30(1): 97—100.

- SU Jian-ning, WANG Peng, ZHANG Shu-tao, et al. Review of Key Technologies of Product Image Styling Design[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(1): 97—100.
- [11] 曹乐, 李润, 袁艳, 等. 基于 BP 神经网络的气调包装评价方法研究[J]. 包装工程, 2014, 35(1): 38—41.  
CAO Le, LI Run, YUAN Yan, et al. Study on the Method of MAP Evaluation Based on BP Network[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(1): 38—41.
- [12] HSIAO S W, HUANG H C. A Neural Network Based Approach for Product Form Design[J]. Design Studies, 2002(23): 67—84.
- [13] 孙菁, 陈安全, 王少梅. 基于遗传神经网络的产品配色设计[J]. 工程设计学报, 2007, 14(3): 243—246.  
SUN Jing, CHEN An-quan, WANG Shao-mei. Research on Construction of Color Design System Based on Neural Network and Genetic Algorithm[J]. Journal of Engineering Design, 2007, 14(3): 243—246.
- [14] 罗仕鉴, 潘云鹤. 产品设计中的感性意象理论、技术与应用研究进展[J]. 机械工程学报, 2007, 43(3): 8—13.  
LUO Shi-jian, PAN Yun-he. Review of Theory, Key Technologies and Its Application of Perceptual Image in Product Design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(3): 8—13.
- [15] 翁胜斌. CNKI 数据源的关键词共现分析与多维尺度分析的现实方法[J]. 现代情报, 2013, 33(4): 27—30.  
WENG Sheng-bin. The Co-word Analysis and Multidimensional Scaling of Keywords Based on CNKI Data[J]. Journal of Modern Information, 2013, 33(4): 27—30.
- [16] 周美玉, 龚丽娜, 刘飞. 聚类模型在感性设计中的应用[J]. 机械工程学报, 2008, 44(7): 248—252.  
ZHOU Mei-yu, GONG Li-na, LIU Fei. Application of Cluster Model in Kansei Design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(7): 248—252.
- [17] 惠新. 两种量表统计方式在公共服务满意度中的比较[J]. 统计与决策, 2009(23): 159—161.  
HUI Xin. Comparison of Two Kinds of Scales in Public Service Satisfaction[J]. Statistics & Decision, 2009(23): 159—161.
- [18] 周品. 神经网络设计与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.  
ZHOU Pin. Neural Network Design and Application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013.