

基于 BP 神经网络的个性化多功能茶几设计研究

陈淑鑫¹, 李精宇¹, 张宏斌¹, 张辉²

(1. 齐齐哈尔大学 机电工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006;

2. 齐齐哈尔大学 计算机与控制工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要: **目的** 通过分析消费者感性需求和多功能茶几产品形态设计要素, 建立二者之间回归的联系模型, 完成多功能茶几产品的个性化设计, 解决茶几产品无法按照用户消费需求设计制造的难题。 **方法** 首先运用语义差异法获取消费者对茶几产品的感性意象评价值, 并利用因子分析法对评价值进行归纳整理, 其次按照茶几产品设计要素对其进行模块解构, 并对各部分模块进行数值化编码, 再次根据整理的感性意象评价值和模块数值训练茶几产品 BP 神经网络, 建立二者间映射关系, 最后实施二次语义差异法问卷实验, 验证 BP 神经网络的准确性。 **结果** 根据训练的茶几产品 BP 神经网络可预测出感性评价值最大的茶几产品造型, 实验结果验证了茶几产品 BP 神经网络模型的准确性, 为茶几产品的个性化设计提供了有利的支撑。 **结论** 此方法提高了茶几产品的设计效率, 提升了茶几产品设计的合理性, 解决了家具设计者无法精准按照用户主观需求完成客观产品设计的难题, 为以消费者需求市场为导向的产品设计制造提供了有益的参考和指导。

关键词: 感性工学; BP 神经网络; 产品设计; 因子分析法; 多功能茶几

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)18-0247-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.18.029

Personalized Multifunctional Tea Table Design Based on BP Neural Network

CHEN Shu-xin¹, LI Jing-yu¹, ZHANG Hong-bin¹, ZHANG Hui²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Qiqihar University, Heilongjiang Qiqihar 161006, China;

2. College of Computer and Control Engineering, Qiqihar University, Heilongjiang Qiqihar 161006, China)

ABSTRACT: By analyzing the consumer's perceptual demand and the design elements of the multifunctional tea table product form, the paper aims to establish the regression relationship model between the two to complete the personalized design of the multifunctional tea table product and solve the problem that the tea table product cannot be designed and manufactured according to the user's consumption demand. Firstly, semantic differential method is used for consumer products for tea table perceptual image value, and the factor analysis is used to summarize the value of sorting. Secondly, according to the product design elements on the tea table module deconstruction, and each part of the module is numerically coded. And BP neural network of tea table products is trained according to the perceptual image evaluation value and module value, and the mapping relationship between them is established. Finally, the accuracy of the BP neural network is verified by the questionnaire experiment with the second semantic difference method. According to the BP neural network of tea table products trained, the model of tea table products with the highest perceptual evaluation value can be predicted. The accuracy of BP neural network model of tea table products is verified by the experimental results of the second semantic difference method, which provides favorable support for the personalized design of tea table products. This method improves the design efficiency and rationality of coffee table products, solves the problem that furniture designers cannot accurately complete objective product design according to users' subjective needs, and provides beneficial reference and

收稿日期: 2022-04-08

基金项目: 国家自然科学基金联合项目 (U2031142); 黑龙江省农业多维传感器信息感知工程技术研究中心开放课题项目 (DWCGQKF202107)

作者简介: 陈淑鑫 (1978—), 女, 博士生, 主要研究方向为数据科学与图像分析设计。

guidance for product design and manufacturing based on consumer demand and market.

KEY WORDS: product personalized design; Kansei Engineering; BP neural network; factor analysis; multifunctional coffee table

茶几是一种盛放杯子、盘子、茶具等日常家用物件的耐用产品,能够满足人们盛放日常生活物品的使用需求^[1]。随着消费水平和文化素质的提高,用户越来越注重自己的个人消费需求,消费者对茶几产品功能的丰富性、实用性及外观的新颖性、独特性等要求越来越高,因此,茶几产品的个性化设计也越来越关键。感性工学以工学的手法,将人类的各种感性量化,并找出感性量与工学中各物理量之间的高元函数关系,将用户对产品的感性需求转化为产品的设计要素,按照消费者对产品意象的需求精准完成产品的个性化设计^[2]。

林丽等^[3]将网络爬虫技术、文本挖掘技术、参数化转换等技术融合感性工学方法,完成了从用户意象获取到具体产品设计的数字化流程,极大程度地实现了用户意象无偏差设计。程永胜等^[4]重点分析了品牌意象与产品造型的联系,应用德尔菲法、语义差异法建立了二者间的映射关系,探索企业用户的需求。王飞等^[5]借助均值分析法、聚类分析法等方法,构建了以用户喜爱标准为核心的工程拖拉机产品设计系统,为其造型优化设计提供了有力支持。曹玫梅等^[6]运用数量化理论 I 类法及 SD 法,进行了符合残疾、老年用户感性需求的电动轮椅产品设计。崔宜若等^[7]通过语义差异法实验和模糊评价法,基于感性意象与设计要素的联系,设计出 2 个微型电动车计划方案,并筛选出最优方案。陈弈菲等^[8]依照宋代国画效果特点基于感性工学产品设计流程,进行了带有宋代文化特征的旗袍款式设计研究。

人工神经是通过模仿生物神经网络的机构及功能来处理信息的系统^[9]。BP 神经网络作为人工神经网络的一种,在运用感性工学设计产品过程中,通常被用来建立产品设计要素与用户感性意象信息之间的映射关系,可以将用户的感性需求精准地转化为产品物理特征^[10]。大量产品设计研发人员利用感性工学结合计算机建立的人工神经网络模型,完成了以用户意象为导向的产品设计。

苏建宁等^[11]对 BP 神经网络进行训练,建立了可以及时反映用户情感意象评估的产品造型设计系统,并以高脚杯产品设计验证了模型的合理性。张硕等^[12]通过分析并建立壁挂式充电桩感性意象与形态设计要素对应的 BP 神经网络设计模型,得到不同用户感性需求对应的产品造型。李少波等^[13]提出 TFEPA 方法结合 BP 神经网络,成功提取出用户对智能电子设备评价的感性词汇,并准确模拟预测出消费者的感性意象。朱彦^[14]应用主成分分析法、形态分析法结合 BP 神经网络对家庭服务机器人整体造型设计要素与

感性意象进行了量化分析,并完成了感性意象“亲和的”产品造型预测。李阳等^[15]基于语义差异法、产品解构法及 BP 神经网络,建立了一种符合用户感性需求木制民居个性化定制方法,并通过苗族传统木制民居的个性化设计实例,验证方法的可行性。

通过感性工学结合 BP 神经网络的方法用以完成设计产品研发已取得了很大成功,但目前此方法在家具产品,尤其在茶几产品设计研发领域的应用尚属空白,因此通过训练 BP 神经网络,建立用户感性意象和茶几产品设计要素二者的联系,预测出符合用户需求的产品模型方法,并应用于多功能茶几产品个性化设计领域十分迫切。

1 多功能茶几个性化设计研究框架

收集多功能茶几产品相关感性词汇,根据聚类分析法及因子分析法筛选出代表感性词汇,并作为多功能茶几产品的评价量尺。筛选出多功能茶几代表样本库,运用形态拆解法^[16]对代表样本产品的组成部件进行解构,提取茶几产品的代表设计元素,建立设计元素形态模块空间,并编码各元素模块。利用 15 个代表样本进行 BP 神经网络训练,建立茶几产品设计要素编码与感性词汇评价数值量之间的映射关系,选用 5 个新代表样本验证 BP 神经网络训练模型的性能。根据训练成熟模型对茶几产品形态设计要素模块进行重组匹配,预测出符合用户感性需求的茶几模型,完成多功能茶几产品的个性化设计,多功能茶几产品个性化设计流程如图 1 所示。

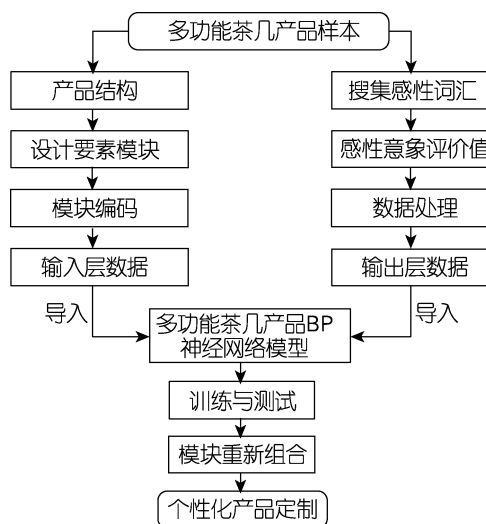


图 1 多功能茶几产品个性化设计流程
Fig.1 Multifunctional coffee table product
personalized design process

2 多功能茶几产品的意象感性分析

2.1 样本与感性词汇的选取

以现代化多功能茶几为研究对象, 通过网站搜寻、文献整理、市场实际考察, 收集并梳理出 20 款具有不同功能代表性的茶几样本, 根据设计要求及产品尺寸数据建立产品模型, 高度还原产品造型, 部分产品三维模型如图 2 所示, 为 BP 神经网络的训练及

性能验证研究提供输入层元素。
通过多功能茶几产品评价网站、文献期刊、用户访谈搜集到 89 组多功能茶几产品造型意象评价感性形容词, 运用 KJ 法与德尔菲法筛选出 8 组表达性强的感性词汇, 分别为: 老套的—新颖的、装饰的—实用的、古朴的—时尚的、烦琐的—简洁的、庸俗的—高雅的、传统的—现代的、普遍的—独特的、突兀的—协调的。

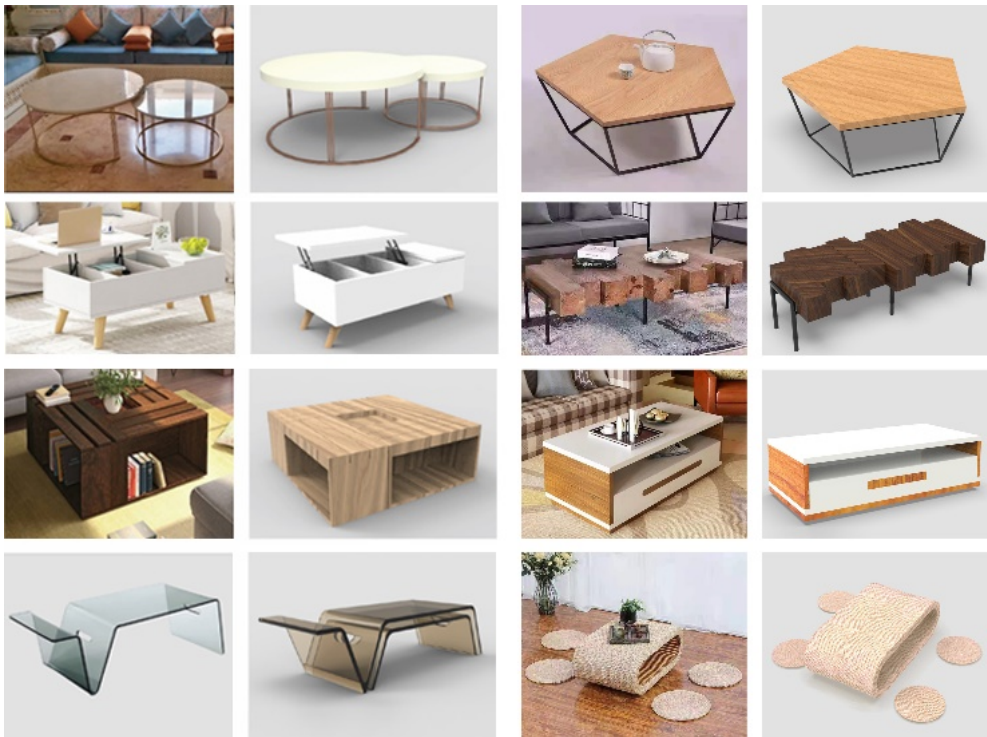


图 2 多功能茶几产品实体照片及三维模型
Fig.2 Multifunctional tea table product picture and three-dimensional model

通过语义差异法, 针对目标用户建立问卷调查表, 根据 8 组感性词汇建立七阶量尺, 量度 1—7 表示产品意象感性程度的逐级增强, 邀请 30 位多功能茶几消费者代表对 20 个产品样本进行评测, 部分被测产品样本问卷调查样图如图 3 所示。用户对“老套的—新颖的”这一量尺的评分为“1”代表其对被测

产品感性表达趋向“老套的”, 评分为“4”代表用户的感性表达趋向中立, 评分为“7”代表其对被测产品感性表达趋向“新颖的”。将被测者对产品样本评价结果数据进行平均值处理, 处理结果表示不同用户对被测产品的整体感性意象程度。
将被测者对产品的感性评价平均数值导入 SPSS 软件进行因子分析, 将 8 对不同感性词对评价数值变量按照内在相关性的强弱进行分类, 根据分析各组数据变量得出的特征值和方差贡献度, 提取出相关因子, 筛选出每组类别的代表数值, 实现以最少感性评价价值解释全部产品的感性评价价值。
由图 4 可以看出, 图中折线在第 4 个点之前, 两点间连线坡度陡峭, 第 4 个拐点后折线线形坡度变缓, 趋于平稳, 前 3 个因子的特征值明显高于后 5 个。因此, 说明前 3 个因子的重要程度较高, 为主要因子。
建立成分矩阵并得到旋转后的成分矩阵, 保留重要的载荷量, 使数值变量与因素间的关系更清晰, 结

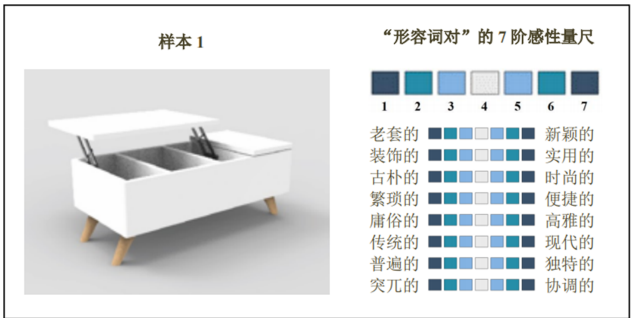


图 3 茶几产品样本 1 感性词对 7 阶调查尺度图
Fig.3 Tea table product sample 1 perceptual word pairs 7 order survey scale map

果如表 1 所示,表明了 3 个重要因子对 8 组数据变量影响程度的占比系数,同时也显示出其他各因素与数据变量之间的数值关系。

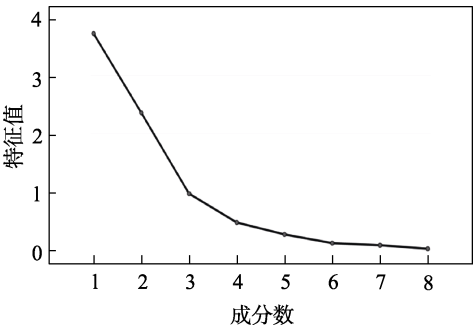


图 4 感性成分因子提取碎石图
Fig.4 Sensitive component factor extraction lithotripsy map

根据旋转后的因子点绘制感性词对散点载荷图(见图 5),其表明了 3 个因子与 8 组感性评价数值变量间的关系。通过散点图可以看到因子的空间分布趋于 3 类,说明 8 组感性词对可分为 3 类,“老套的—新颖的”“装饰的—实用的”“突兀的—协调的”3 组词对可代表各自类别的全部感性词对,并适合作为多功能茶几产品的测评量尺。

表 1 旋转后成分矩阵
Tab.1 Composition matrix after rotation

形容词对	成分 1	成分 2	成分 3
老套的—新颖的	0.904	-0.026	-0.342
装饰的—实用的	-0.292	-0.031	0.950
古朴的—时尚的	-0.200	0.873	-0.021
繁琐的—简洁的	-0.303	0.011	0.943
庸俗的—高雅的	-0.061	0.833	0.054
传统的—现代的	0.874	-0.079	-0.339
普遍的—独特的	0.896	-0.169	-0.117
突兀的—协调的	0.011	0.959	-0.049

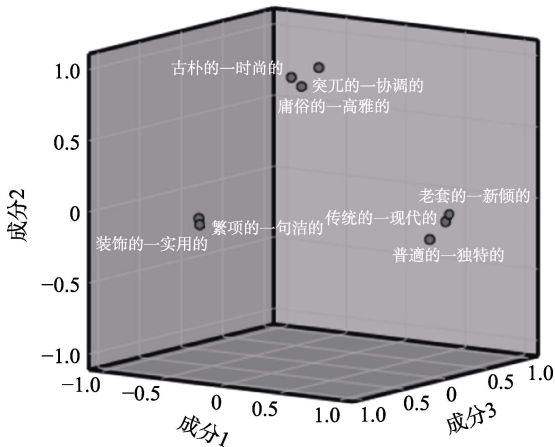


图 5 感性词对散点载荷图
Fig.5 Perceptual word to scatter load diagram

2.2 茶几产品要素模块编码

“形式”和“功能”是产品设计要传递出的基本核心内容,根据茶几产品形式与功能的要求特点,影响茶几产品造型的设计要素主要有色彩、形态、材质要素,其中色彩、材质等设计元素的展现需要依托于形态设计要素,形态设计要素表现形式为产品的组成结构,同时,产品的组成结构可以直观地显示出产品的色彩、材质,因此本文以产品形态设计要素为研究对象。茶几产品的主要组形态设计要素包括 5 个部分,即桌面结构、储物格结构、底板支撑结构、副桌板结构、连杆结构。运用形态拆解法^[16]将茶几产品按 5 个主要形态设计要素结构进行解构,模块化形态设计要素,并通过模块之间的不同组合匹配,设计出个性化、多元化多功能的茶几产品,满足用户对产品个性化的消费需求。

3 建立并验证茶几产品 BP 神经网络

3.1 BP 神经网络

BP 神经网络是具有自我学习调节能力的多层反馈神经网络,输入信号值由输入层向前传播,经过隐藏层“激活”后,传播到输出层得到输出值,根据预测输出值与实际输出值建立误差函数,为找到误差函数的最小值,将误差反向传播,由输出层传播到隐藏层,最终传播回输入层,依次反复调整隐藏层与输入层的权重与偏置值,最后得到误差值满足要求时的参数,多功能茶几 BP 神经网络运行模型如图 6 所示。

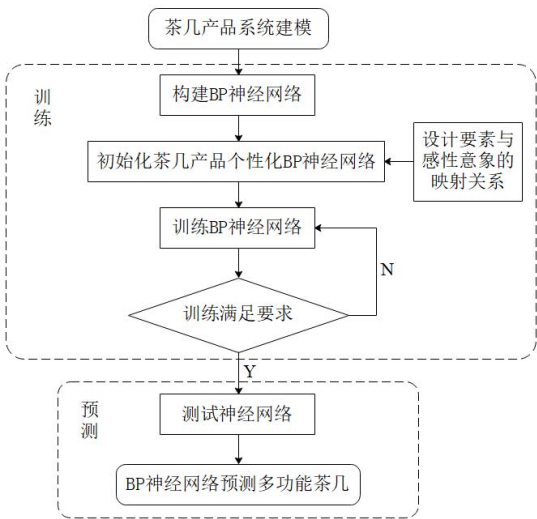


图 6 多功能茶几 BP 神经网络运行模型
Fig.6 BP neural network operation model of multi-functional tea table

3.2 茶几产品 BP 神经模型的建立

BP 神经网络模型的建立是茶几产品个性化设计的关键,其可以建立茶几产品设计要素与感性词汇评

价数之间的映射关系。

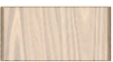
3.2.1 输入层指标确定

茶几产品 BP 神经网络输入层指标为其产品形态设计要素模块，BP 神经网络无法直接识别形态模块，因此需要将模块参数化。对茶几产品各形态设计要素进行编码处理以实现模块的参数化，根据表 2，将茶

几产品主要设计要素结构的各代表造型，按其排列顺序进行数字编码。

例如，茶几产品样本一中 5 个主要形态设计要素下对应的代表造型编号分别为 5、6、1、4、1。根据此编码方式对其他茶几产品样本进行参数化编码，以此作为神经网络的输入指标。

表 2 形态设计要素解构编码
Tab.2 Morphological design elements are deconstructed and coded

造型元素	编号 1	编号 2	编号 3	编号 4	编号 5	编号 6	编号 7
桌面 X1							
储物格 X2							
支撑 X3							
副桌板 X4							
连杆 X5							

3.2.2 BP 神经网络的节点数目确定

茶几产品主要由桌面结构、储物格结构、底板支撑结构、副桌板结构、连杆结构形态设计要素模块组成，此 5 个模块作为神经网络模型输入层指标，因此输入层神经元节点设为 5 个。“老套的—新颖的”“装饰的—实用的”“突兀的—协调的”3 组感性意象词汇量化数值为神经网络模型输出层的指标，因此，输出层神经元个数为 3 个。隐藏层个数根据公式（1）计算获得。

$$T = \frac{P+Q}{2} \tag{1}$$

式中，T 代表隐藏层神经元个数，P 代表输入层

神经元个数，Q 代表输出层神经元个数。根据式（1）对隐藏层神经元个数的计算结果精确度进行近似取整，可知此茶几产品神经网络模型隐藏层神经元个数为 4 个，以此提供给神经网络进行训练。

3.2.3 指标归一化处理

神经网络预测前需完成数据归一化处理，以便消除输入、输出层不同特征数据之间的量级差别，合理解决好由于量级差别较大而造成的网络预测误差较大的问题^[17]。采用 min-max 标准化法对输入、输出层指标实行归一化，其表达式如式（2），Z_i 为指标 Z 的第 i 个数值指标，Z_{max} 为指标 Z 的最大值，Z_{min} 为指标 Z 的最小值。归一化处理的结果如表 3 所示。

表 3 设计要素编码及感性值归一化结果
Tab.3 Coding of design elements and normalization of perceptual values

样本	设计要素编码					感性意象评价价值		
	桌面	储物格	支撑	副桌板	连杆	老套的— 新颖的	装饰的— 实用的	突兀的— 协调的
1	0.20	0.00	1.00	1.00	0.60	0.61	0.59	0.80
2	0.80	0.20	0.60	0.00	1.00	0.85	0.27	0.39
3	0.33	0.67	1.00	0.17	0.00	0.45	0.85	0.85
4	0.75	0.50	0.00	1.00	0.25	0.13	0.74	0.17
5	0.00	0.75	0.50	0.75	1.00	0.93	0.36	1.00
6	0.00	1.00	0.60	0.20	0.40	0.40	0.70	0.03
7	1.00	0.00	0.20	1.00	0.40	0.79	0.54	0.53

续表 3								
样本	设计要素编码					感性意象评价价值		
	桌面	储物格	支撑	副桌板	连杆	老套的一 新颖的	装饰的一 实用的	突兀的一 协调的
8	1.00	0.25	0.75	0.00	0.5	0.50	0.47	0.92
9	0.00	1.00	0.50	0.25	1.00	0.82	0.51	0.61
10	0.00	0.00	1.00	0.50	0.25	0.45	0.72	0.15
11	1.00	0.60	0.00	0.40	1.00	0.87	0.05	0.25
12	0.50	1.00	0.00	0.25	0.00	0.00	1.00	0.30
13	0.33	1.00	0.67	0.50	0.00	0.27	0.49	0.36
14	0.25	0.00	1.00	0.50	0.25	1.00	0.56	0
15	0.25	1.00	1.00	0.00	0.75	0.15	0.83	0.86
16	1.00	0.00	1.20	0.80	0.20	0.69	0.00	0.63
17	0.00	1.00	0.60	0.40	0.20	0.35	0.78	0.23
18	0.67	1.00	0.33	0.17	0.00	0.16	0.21	0.53
19	0.00	0.40	0.00	1.00	0.80	0.99	0.45	0.17
20	0.50	0.50	0	0.25	1.00	0.95	0.16	0.38

$$Z_i = \frac{Z_i + Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_i} \quad (2)$$

3.2.4 训练茶几产品 BP 神经网络模型

通过 Matlab 编程软件建立 BP 神经网络,将代表样本主要设计要素编码数据导入输入层,隐藏层中采用正切 S 型作为激活函数,输出层函数采用 Purelin 线性函数。

设定茶几产品神经网络的学习次数约束在 10 000 次以内,实际目标值与预测值误差为 0.001。将前 15 个样本部件编码数据及感性词汇评价价值作为训练数据集,对茶几产品进行训练。将其余 5 个代表样本的数据作为神经网络性能的检验集。训练茶几产品 BP 神经网络,训练次数达 42 次时,完成训练目标,停止训练,训练次数如图 7 所示。

3.2.5 茶几产品 BP 神经网络的性能检验

已建立的 BP 神经网络需要进行性能检验,以证明其功能合理性。将待验证的 5 个样本的主要设计要

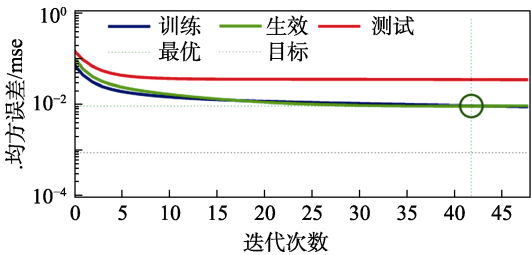


图 7 多功能茶几神经网络训练结果
Fig.7 Results of neural network training on multifunctional tea table

素编码作为输入指标,导入已建立的茶几产品 BP 神经网络,得到输出层指标数值,并计算输出数值与实际感性意象评价价值的真实相对误差。由图 7 可知,真实相对误差值近似为 1%,为证明茶几产品 BP 神经网络预测的可靠性,需保证输出层数据与实际数据的真实误差值在 1%以下。根据测试结果显示,建立的茶几产品 BP 神经网络预测精度较好,可靠性强,见表 4。

表 4 预测对比结果
Tab.4 Forecast comparison results

感性词对	数据误差	样本 16	样本 17	样本 18	样本 19	样本 20
老套的一新颖的	预测感性值	4.191	2.945	2.253	5.426	5.237
	实际感性均值	4.167	2.967	2.267	5.400	5.233
	相对误差%	0.57	0.75	0.62	0.48	0.08
装饰的一实用的	预测感性值	2.256	5.913	3.224	4.342	3.052
	实际感性均值	2.267	5.900	3.233	4.367	3.033
	相对误差%	0.49	0.22	0.28	0.57	0.62
突兀的一协调的	预测感性值	5.217	3.237	4.712	2.953	3.965
	实际感性均值	5.200	3.233	4.700	2.933	3.967
	相对误差%	0.33	0.12	0.25	0.68	0.05

3.3 基于 BP 神经网络的茶几产品个性化设计

多功能茶几产品主要设计形态要素分为桌面结构、储物格结构、底板支撑结构、副桌板结构、连杆结构 5 个部分, 对各部分的代表特征进行搭配组合, 可得到 $6 \times 7 \times 7 \times 6 \times 6 = 10\ 584$ 种组合方式, 对所有组合方式的设计要素数值进行编码, 导入多功能茶几产品 BP 神经网络的输入层作为输入层指标, 通过运行计算并由输出层输出所有组合茶几产品感性评价数

值。结果显示, 输入层指标模块编码为 12334、35662、43253 的样本产品分别为感性词“老套的—新颖的”“装饰的—实用的”“突兀的—协调的”评价价值最高的茶几产品, 其感性评价价值分别为 6.895、6.966、6.931。因此, 这 3 个茶几产品样本为“新颖的”“实用的”“协调的”感性意象词汇下最优的茶几产品, 其立体模型如图 8 所示。通过茶几产品 BP 神经网络的学习和训练, 完成满足用户需求的茶几产品的个性化设计目标。



图 8 个性化多功能茶几设计结果

Fig.8 Design result of individualized multifunctional tea table

3.4 个性化产品感性设计检验

通过前期的问卷调查、茶几产品 BP 神经网络的训练, 得到满足消费者感性意象的茶几产品。为了证明建立的 BP 神经网络个性化设计茶几产品的准确性, 采用二次问卷调查的方式进行验证。邀请 30 位茶几产品消费者进行问卷测试, 针对 3 项个性化样本, 基于“老套的—新颖的”“装饰的—实用的”“突兀的—协调的”3 组感性意象词汇进行感性量度评价, 感性量尺同样为 7 阶李克特量表, 对问卷数据进行均值处理。实验数据结果显示, 问卷结果数据与 BP 神经网络输出层数值的比值相关系数均为 0.9~1.0, 表明根据茶几 BP 神经网络所设计的个性化产品可满足用户个人的感性需求。

4 结语

多功能茶几产品是人们生活中常用的家居用品, 根据用户的个人需求不同、使用场景不同, 茶几产品的使用功能需要丰富、多样化, 茶几产品的个性化设计尤为重要。感性工学是工学的分支, 将感性转译到工学中, 将感性分析结果转化为物理设计要素, 依据用户的喜好来设计产品。BP 神经网络具有强大的自学习能力与自适应能力。本文将感性工学与 BP 神经网络有效结合, 完成了基于用户个人市场需求的多功能茶几产品个性化设计。首先, 基于感性工学, 收集并筛选感性词汇, 确定对茶几产品影响最大的 3 组感性词汇。其次, 将多功能茶几产品根据主要设计形态元素进行拆分解构, 并对各组成部分进行数值化编码。然后, 将数值化编码与感性评价价值作为茶几产品

BP 神经网络的输入层和输出层指标, 训练此神经网络并验证模型的可靠性。最后, 通过茶几产品 BP 神经网络模型精准的预测性, 完成了目标方案设计。

感性工学与 BP 神经网络相结合的茶几产品设计方法, 解决了家具设计师无法准确按照用户需求完成产品设计的难题, 减少了家具设计师面对成熟产品设计灵感匮乏的困扰, 为消费者及茶几产品设计师提供了服务, 为多功能茶几产品及相关产品的设计与研发, 提供了指导与参考。

参考文献:

- [1] 刘青青, 徐伟, 詹先旭. 基于榫卯结构的可拆装茶几设计[J]. 家具, 2020, 41(5): 63-66.
LIU Qing-qing, XU Wei, ZHAN Xian-xu. Research on the Design of Detachable Tea Table Based on Mortise and Tenon Joint[J]. Furniture, 2020, 41(5): 63-66.
- [2] NAGAMACHI M. Kansei Engineering: A New Ergonomic Consumer-Oriented Technology for Product Development[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1995, 15(1): 3-11.
- [3] 林丽, 张云鹏, 牛亚峰, 等. 基于网络评价数据的产品感性意象无偏差设计方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2020, 50(1): 26-32.
LIN Li, ZHANG Yun-kun, NIU Ya-feng, et al. Unbiased Design Method for Product Kansei Image Design Based on Network Evaluation Data[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2020, 50(1): 26-32.
- [4] 程永胜, 徐晓琪, 陈国强. 基于品牌意象的游艇造型设计方法[J]. 中国舰船研究, 2020, 15(5): 63-68, 89.

- CHENG Yong-sheng, XU Xiao-qi, CHEN Guo-qiang. Yacht Modeling Design Method Based on Brand Image[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2020, 15(5): 63-68, 89.
- [5] 王飞, 戚彬, 印祥, 等. 基于感性工学的拖拉机造型设计研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(11): 83-88.
- WANG Fei, QI Bin, YIN Xiang, et al. Research on Tractor Modeling Design Based on Kansei Engineering[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(11): 83-88.
- [6] 曹玫梅, 冯乙, 宋林书, 等. 基于感性意向的电动轮椅造型设计[J]. 机械设计与研究, 2020, 36(3): 158-160.
- CAO Mei-mei, FENG Yi, SONG Lin-shu, et al. Research on Emotionalized Electric Wheelchair Model Design[J]. Machine Design & Research, 2020, 36(3): 158-160.
- [7] 崔宜若, 申晋宪, 尹欢. 基于感性工学的微型电动车前脸造型设计[J]. 太原理工大学学报, 2020, 51(3): 471-477.
- CUI Yi-ruo, SHEN Jin-xian, YIN Huan. Front Face Modeling Design of Mini Electric Vehicle Based on Kansei Engineering[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2020, 51(3): 471-477.
- [8] 陈弈菲, 刘驰. 宋代国画图案在旗袍设计中的感性工学应用[J]. 毛纺科技, 2021, 49(3): 47-53.
- CHEN Yi-fei, LIU Chi. Kansei Engineering Application of the Chinese Painting Pattern in Song Dynasty in the Design of Cheongsam[J]. Wool Textile Journal, 2021, 49(3): 47-53.
- [9] 郭田德, 韩丛英. 人工智能机理解释与数学方法探讨[J]. 中国科学: 数学, 2020, 50(11): 1541-1578.
- GUO Tian-de, HAN Cong-ying. Artificial Intelligence Mechanism and Mathematics Implementation Methods[J]. Scientia Sinica (Mathematica), 2020, 50(11): 1541-1578.
- [10] 李永锋, 朱丽萍. 基于序次 Logistic 回归的产品意象造型设计研究[J]. 机械设计, 2011, 28(7): 8-12.
- LI Yong-feng, ZHU Li-ping. Research on Product Image Form Design Based on Ordinal Logistic Regression[J]. Journal of Machine Design, 2011, 28(7): 8-12.
- [11] 苏建宁, 范跃飞, 张书涛, 等. 基于感性工学和神经网络的产品造型设计[J]. 兰州理工大学学报, 2011, 37(4): 47-50.
- SU Jian-ning, FAN Yue-fei, ZHANG Shu-tao, et al. Product Form Design Based on Kansei Engineering and Neural Network[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2011, 37(4): 47-50.
- [12] 张硕, 吴俭涛. 基于 BP 神经网络的壁挂式充电桩产品形态研究[J]. 图学学报, 2017, 38(6): 865-868.
- ZHANG Shuo, WU Jian-tao. Research on Form of Wall Set Charging Pile Base on BP Neural Network[J]. Journal of Graphics, 2017, 38(6): 865-868.
- [13] 李少波, 全华凤, 胡建军, 等. 基于在线评论数据驱动的产品感性评价方法[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(3): 752-762.
- LI Shao-bo, QUAN Hua-feng, HU Jian-jun, et al. Perceptual Evaluation Method of Products Based on Online Reviews Data Driven[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(3): 752-762.
- [14] 朱彦. 家庭服务机器人整体造型感性设计的 BP 神经网络应用[J]. 包装工程, 2018, 39(4): 151-154.
- ZHU Yan. BP Neural Network for the Overall Shape Perceptual Design of Home Service Robots[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(4): 151-154.
- [15] 李阳, 吕健, 刘翔, 等. 基于 BP 神经网络的木制民居个性化定制[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41(8): 2374-2380.
- LI Yang, LYU Jian, LIU Xiang, et al. Personalization of Wooden Houses Based on BP Neural Network[J]. Computer Engineering and Design, 2020, 41(8): 2374-2380.
- [16] 李永锋, 朱丽萍. 基于神经网络的产品意象造型设计研究[J]. 包装工程, 2009, 30(7): 88-90.
- LI Yong-feng, ZHU Li-ping. Research on Product Image Form Design Based on Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(7): 88-90.
- [17] 查刘根, 谢春萍. 应用四层 BP 神经网络的棉纱成纱质量预测[J]. 纺织学报, 2019, 40(1): 52-56.
- ZHA Liu-gen, XIE Chun-ping. Prediction of Cotton Yarn Quality Based on Four-Layer BP Neural Network[J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(1): 52-56.

责任编辑: 马梦遥