

基于BP神经网络的轿车造型意象设计与 量化预测模型建立

陈世斌^{1,2}, 杨双建^{1,2}, 朱蕾^{1,2}, 李美美^{1,2}, 张伟社^{1,2}

(1.长安大学公路养护装备国家工程实验室, 西安 710064;

2.长安大学道路施工技术与装备教育部重点实验室, 西安 710064)

摘要: **目的** 构建产品造型意象设计与产品造型量化间的预测模型, 将产品的设计元素与消费者的需求和感知相关联。**方法** 分析小轿车造型与感性意象之间的关系, 基于用户对产品外观形态感受进行打分, 采用感性工学方法进行量化; 用双BP神经网络训练的思路, 建立外观设计元素与感性意象间的对应关系, 得到小轿车外观方案的感性意象预测模型。**结论** 获得产品造型设计方案的感性意象预测模型, 能高效解决设计师的产品造型设计方案与消费者的目标达成趋同, 通过高效的产品外观设计, 为未来轿车及机电类产品的造型设计转向以消费者精神需求为导向提供了一种新的设计方法。

关键词: 感性意象; BP神经网络; 产品造型; 轿车造型; 预测模型

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)16-0128-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.16.019

Design and Quantification of Cars Modeling Imagery Based on BP Neural Network

CHEN Shi-bin^{1,2}, YANG Shuang-jian^{1,2}, ZHU Lei^{1,2}, LI Mei-mei^{1,2}, ZHANG Wei-she^{1,2}

(1.National Engineering Laboratory for Highway Maintenance Equipment, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2.Key Laboratory of Road Construction Technology and Equipment of MOE, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

ABSTRACT: The work aims to construct the predictive model between product modeling imagery design and product modeling quantification to associate product design elements with consumer needs and perceptions. The relationship between car modeling and perceptual imagery was analyzed. Based on the user's perception of product appearance, the perceptual engineering method was utilized to quantify it. The corresponding relationship between design elements and perceptual imagery was established with the training thought of dual BP neural network, so as to obtain the perceptual imagery predictive model of car appearance scheme. The perceptual imagery predictive model of product modeling design scheme obtained can effectively achieve the convergence of designer's product modeling design scheme and consumer's demand. The efficient product appearance design provides a new design method that future car and mechanical and electrical products are oriented to consumers' spiritual needs.

KEY WORDS: perceptual imagery; BP neural network; product modeling; car modeling; predictive model

随着我国社会科教的发展, 经济日益增长, 人们对单一的物质需求转变为物质与精神需求并驾齐驱, 也逐步重视日常产品中的精神体现, 并希望赋予其功能外的精神感受。设计师站在用户的角度设计产品就

显得尤其重要, 其能够大大提高产品设计的有效性并及时被消费者认可^[1-4]。然而, 对消费者来说, 产品具有的精神感受以及自己想要的意境通常是模糊的、朦胧的想法, 是一种意会且不能形成系统的表达, 这

收稿日期: 2019-05-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51508031); 陕西省自然科学基金项目(2017JM5020, 2017JM5105)

作者简介: 陈世斌(1980—), 男, 陕西人, 博士, 长安大学副教授, 主要研究方向为产品造型设计理论与方法。

一困境使得设计者不能准确判断用户的需求,从而造成设计上的偏差^[5-6]。因此,建立一种沟通设计者的产品造型客户意象预测模型就显得非常重要,能高效地反馈所设计的产品造型客户意象感知结果,提高产品设计的不有效性。

为了准确把握用户的喜好,设计出用户满意的产品,众多学者从事建立产品设计的要素(形态、颜色等)与用户意象需求之间关系的研究,从而提供设计反馈,典型的方法是采用神经网络搭建沟通桥梁。周美玉等^[7]将电脑型微波炉的前面板进行分解细化,用 KJ 法筛选得到元素,应用 BP 神经网络,得到感性意象与设计元素的对应关系,使产品满足客户的需求。胡志刚等^[8]研究产品设计中色彩与感性意象间的关系,认为产品中色彩的搭配、各自占比面积及产品材质、种类都影响感性意象,建立产品色彩与感性意象之间的 BP 神经网络关联模型,为产品中颜色设计提供了方法。苏建宁^[9]以高脚杯为研究对象,对其设计进行反向推演,寻找产品的设计元素并转化为设计参数,通过神经网络训练,建立能依靠设计参数预测感性意象的系统。李永峰等^[10]以折叠自行车的设计为例,先对其进行形态分析,再到轮廓要素分析,建立敏感词汇库,最后通过神经网络仿真训练,得到意象词汇与设计元素的对应策略,该方法有助于设计者和需求用户之间建立产品沟通的桥梁。CHEN 等^[11]提出用神经网络方法建立基于产品生态价值属性所代表的与产品价值相匹配的产品形式元素与最佳设计组合之间的关系,以办公桌椅为例,以美学,功能和环境友好为目标,建立设计与最佳组合的关系模型。HSIAO^[12]应用计算机建模,模糊集理论和语义差分等方法进行实验,通过反向传播神经网络仿真模拟,建立产品意象和形状生成规则之间的连接数据库,设计人员可以通过提供基本设计元素和形状生成规则,生成具有不同图像的任何产品的 3D 模型,以这种方式,所设计的产品可以更贴近消费者的需求。上述研究多从造型元素的某一方面建立单一模型关系,如设计要素或是配色,也未能实现用户对产品造型意象需求的直接表现。因此,需要一种完整针对产品意象量化和对产品造型意象模型预测的系统,把提升产品外观的设计要素,直接转化为抽象的意象设计阐释给设计者,借助于产品意象中间桥梁,建立用户满意和设计者精确构思之间的设计桥梁,指导设计并反馈设计。

本文在感性意象调查、产品设计特征提取、产品造型品质感受量化的基础上,建立基于 BP 神经网络的轿车造型意象预计模型系统。通过两个 BP 神经网络系统,构建造型特征元素、产品造型意象及消费者满意度三者之间的对应关系,解决设计师与消费者需求之间的统一,提高产品造型方案设计的有有效性。

1 产品造型意象预测模型构建过程及方法

本文主要是研究轿车造型意象设计,主要从小轿车造型意象词汇库构建、产品造型元素获取、BP 神经网络搭建及训练 3 个方面开展:

1.1 机电产品造型意象词汇库构建

轿车造型意象词汇的收集,采用平面媒体、网络媒体及调查等方式实现。意象词汇还需要结合对象的特点选取,针对轿车,人们通常从颜色、造型形态、材质等来衡量,以满足自身的选择需求。基于此,文中从形态元素、车身配色、形体比例、主体材质及制造来表达造型意象。选取的意象表达词汇按五个指标进行分类,收集完成后,通过问卷的形式、采用语义差分法进行设计,统计后形成意象词汇满足 5 类造型类目的程度表。

1.2 产品造型元素获取

依据造型的分类,选取具有一定设计经验的人员及结合问卷调查,通过问卷的方式得到形态元素、车身配色、形体比例、主体材质及制造方法分类。通过对调查表的统计分析,得到轿车设计的主要设计要素,并对其进行归纳与分类,形成各个构成要素组成的特征表,为后续模型建立、训练提供样本数据。另外,可根据设计需要,对设计参数进行增加或删减,以期达到最优,并依据调整构建新的特征表。

1.3 产品造型意象预测模型 BP 神经网络实现

典型的 BP 神经网络由 3 层网络组成^[13],见图 1。本文选择两个 BP 神经网络结合,以第一个网络的输出轿车意象桥梁、建立设计元素与产品造型客户满意度进行评估模型,见图 2,为输入与输出对应关系。通过对造型元素的归纳,用层次分析法确定评价指标的权重,对数据进行预处理,确定第一个 BP 神经网络的输入量,首先建立产品造型评价到产品造型意象分值映射的网络训练模型,并确定节点数及隐含层,作为第一个网络;通过第一个 BP 网络得到的输出结果(意象词汇)作为第二个神经网络的输入,对其进行数据的处理,经过意象词汇与满意度之间的网络

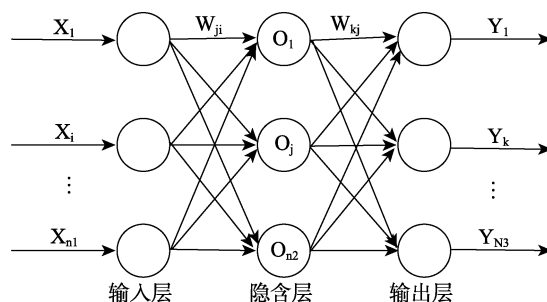


图 1 BP 神经网络示意图

Fig.1 Schematic diagram of BP neural network

训练，确定节点数及隐含层，建立产品外观意象分值与轿车消费者满意度之间的线性评价关系，最终构建产品造型元素到客户满意度之间的预测模型，实现产品造型意象预测。

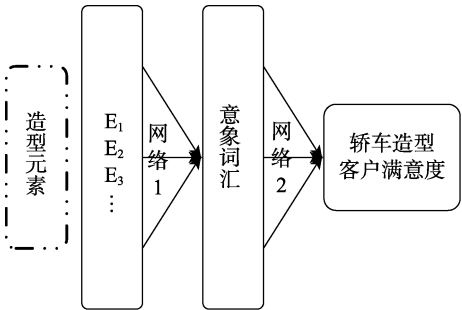


图 2 产品意象预测双 BP 神经网络对应关系
Fig.2 Correspondence between dual BP neural networks for product imagery prediction

2 案例

2.1 轿车样本收集及意象词汇确定

文中以轿车设计为研究对象，通过网络、产品宣

传册等方法收集小轿车图片，经筛选得到 60 个典型汽车样本，选取 25 受访者参与调查，按设计者和消费者进行专业分类，选取 10 位具有一定设计经验的，另外 15 名为资深的消费者。采用问卷调查法对轿车图片进行相似性分析调查、通过数据处理、多维度分析、聚类分析法、多层次分析手段等对样本进行有效的甄别和筛选^[14]，最终剩下 8 个样本。制作问卷表，选取具有设计背景的人员 20 名，根据所选小轿车样本的特征，选取意象词汇，利用语义差异法对所选取的代表词汇进行分析，并对数据进行相关处理，最终得到轿车造型代表性词汇共 6 对，分别为：张扬—内敛、协调—杂乱、灵动—呆板、奢华—简朴、保守—时尚、流线—几何。

2.2 轿车造型特征形态元素获得

对经过前期筛选的 8 种类型的小轿车样本进行设计元素的提取，借鉴 CAD 制图设计的方法，对其各向视图进行设计元素的分类并提取编号，见图 3。设计调查问卷，选取具有设计背景的设计者 15 名，5 年驾龄的用户 10 名，并发放问卷，通过问卷调查，完成轿车几何特征元素的提取，同时表 1 和表 2 分别为色彩特征和外壳质感特征。

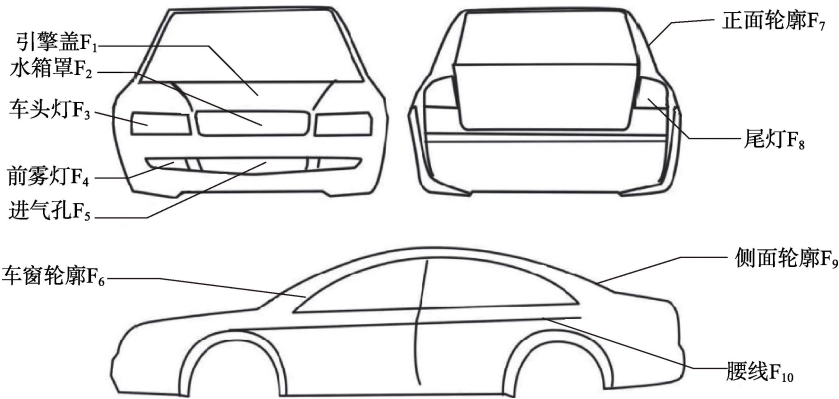


图 3 轿车几何特征元素
Fig.3 Car geometric features elements

表 1 轿车色彩特征
Tab.1 Car color feature

颜色元素		颜色分类			
主色 F ₁₁	黑白灰 F ₁₁₂				
	橙色系 F ₁₁₁				—
	蓝绿色系 F ₁₁₃				—
辅色 F ₁₂	红色系 F ₁₂₁			—	—
	白色系 F ₁₂₂		—	—	—

表 2 轿车外壳质感特征
Tab.2 Car shell texture characteristics

类目		示例	
主基调 F ₁₃	F ₁₃₁ 高光	F ₁₃₂ 透明	
局部粉饰 F ₁₄	F ₁₄₁ 哑光	F ₁₄₂ 贴图	

2.3 第一个 BP 神经网络模型仿真训练

由前述所选 8 类轿车为样本,基于上文的分析与总结,选取了 F₁ 到 F₁₄, 总共 14 个轿车设计中的代表性元素,由此确定输入样本为个数为 14;选取的代表性的意象词汇为:张扬—内敛、协调—杂乱、灵动—呆板、奢华—简朴、保守—时尚、流线—几何,可确定该模型输出节点数为 6;根据经验公式以及试算,12 个隐含层较为合适。隐含层选择 tangent sigmoid 作为传递函数,输出层选择 purelin 传递函数,设置网络的最大迭代次数为 2000,误差目标值为 0.001,经过训练,可计算得到层间的权值。

2.4 第二个 BP 神经网络模型仿真训练

通常情况下,用户对汽车的关注度或是影响用户购买的决定要素是轿车的功能和其外观。选取 10 个轿车样本(优先选择消费者满意,排名靠前的类型),导入数据,拟合所选汽车的销量与其功能、外观间的线性关系。在做计算时,需将汽车外观之外的其它因

素去掉,在 MATLAB 中调用程序和编程,求得轿车造型用户满意度与轿车造型意象值之间的关系。在 BP 神经网络计算中,需确定输入节点数和输出节点数,文中要建立外观与满意度间的关系,由上文意象词汇的确定,可知输入节点数设置为 6,输出为 1,隐含层个数为 4,其它设施按照第一个网络设置,同样计算得到层间的权值。

2.5 预测模型的验证

为了验证所构建预测模型的可行性,随机选择四款较有知名度且大众喜欢的轿车为样本,见表 3。按照前述调查、分析等手段得到初始输入数据,并通过与权重之间的计算,可得到有效的输入数据,并通过专家打分得到第一个验证模型样本感性评价矩阵表,见表 4。按照第一个模型的训练得到的权值参数代入输入数据,训练得到表 5 所示的输出值(C₁, C₂, C₃, C₄),对比表明问卷得到数值(C₁^{*}, C₂^{*}, C₃^{*}, C₄^{*}),计算得到的和问卷得到的在误差范围内具有一致性。

表 3 模型验证样本
Tab.3 Verification sample for model

编号	车型	前观	侧观	后观
C ₁	新远景			
				
				
				

表 4 验证第一个模型的有效输入数据
Tab.4 Valid input data for the verification of the first model

		E_1				E_2		...	E_{14}	
1	0	0	0.0049	0	0.0070	0	0	...	0	0.0477
2	0.0049	0	0	0	0	0	0.0070	...	0.0477	0
3	0	0	0	0.0049	0	0	0.0070	...	0.0477	0
4	0	0.0049	0	0	0.0070	0	0	...	0.0477	0

表 5 第一个 BP 神经网络预测模型输出数据与目标数据
Tab.5 Output data and target data for prediction model of the first BP neural network

序号	代表性样本感性评价数据(G)					
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6
G_1	5.52	3.26	3.24	3.30	2.96	3.78
G_1^*	5.21	3.27	3.23	3.24	2.86	3.76
G_2	4.93	5.69	6.62	5.84	6.56	3.25
G_2^*	4.84	5.72	6.63	5.87	6.58	3.25
G_3	3.85	4.93	5.75	4.80	3.78	3.08
G_3^*	3.82	4.93	5.76	4.81	3.80	3.10
G_4	3.71	3.21	5.01	4.24	3.83	3.72
G_4^*	3.73	3.21	5.02	4.21	3.88	3.79

以检验第一个模型准确度时所收集的词汇值，作为后一个模型检验的输入数据，代入模型中进行计算，见表 6。第二个网络验证样本感性评价矩阵表及对应客户满意度。遵照第二个模型训练所得权重及训

练参数，代入输入数据训练，第二个 BP 模型输出的数据 $B=(0.762, 0.754, 0.831, 0.692)$ ，与表 6 中轿车造型客户满意度基本一致，通过上述样本验证，表明模型准确，可靠。

表 6 第二个网络验证样本感性评价矩阵表
Tab.6 Perceptual evaluation matrix for verification sample of the second network

序号	轿车造型意象 S						用户满意度 G^*
	飞扬—稳重	个性—大众	时尚—古典	霸气—内敛	大—小	静感—运动	
1	0.744	0.468	0.461	0.463	0.408	0.537	0.764
2	0.691	0.817	0.947	0.839	0.940	0.464	0.751
3	0.545	0.705	0.823	0.687	0.543	0.443	0.833
4	0.534	0.459	0.718	0.602	0.554	0.542	0.694

3 结语

本文提出了基于 BP 神经网络的轿车造型意象预测模型建立方法，通过对小轿车外观的分析，提取轿车设计特有的代表性设计元素，构建感性意象评价。并通过调查表建立意象词汇及评价打分，得到输入数据及验证数据，构建神经网络系统模型；先建立外观元素与外观之间的神经网络模型，再建立外观与消费者满意度的神经网络模型，最终关联两个神经网络模型，并通过样本验证了正确性，得到消费者易于辨别的外观设计元素与消费者满意度间的预测模型。这一方法在设计师的外观设计方案与消费者的需求满足之间建立了桥梁，提高了产品造型设计方案的快捷性，为未来轿车及机电类产品造型设计向消费者精神需求为设计导向提供一种新方法，对于提高企业的竞

争力有着重要的意义。

参考文献：

[1] GUYTON A A. Developing Sustainable Product Semantics for Consumer Products: a Sustainable Designer's Guide[J]. Georgia Institute of Technology, 2006(1): 8—31.

[2] LI P H. Research on the Evaluation Index of Product Design Based on Consumer, Designer and Manufacturer[J]. Advanced Materials Research, 2013, 7(10): 481—483.

[3] 孙菁. 基于意象的产品造型设计方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.

SUN Jing. Research on Imagery-based Product Modeling Design[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007.

- [4] GOODMAN J. Providing Strategic User Information for Designers: Methods and Initial Findings[M]. London: Designing Accessible Technology, 2006(1): 41—51.
- [5] HAN W U. Originality Extention, the Interpretation and Inspiration of the Design Concept in Shanghai World Expo Japanese Museum[J]. Advanced Materials Research, 2013, 7(1): 41—43.
- [6] TANG B. Method for Industry Design Material Test and Evaluation Based on User Visual and Tactile Experience[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(3): 162.
- [7] 周美玉. 神经网络在产品感性设计中的应用[J]. 东华大学学报, 2007, 37(4): 509—513.
ZHOU Mei-yu. Application of Neural Network in Product Perceptual Design[J]. Journal of Donghua University, 2007, 37(4): 509—513.
- [8] 胡志刚. BP神经网络在产品配色中的应用研究[J]. 包装工程, 2016, 37(10): 136—141.
HU Zhi-gang. Research on Application of BP Neural Network in Product Color Matching. Packaging Engineering[J]. 2016, 37(10): 136—141.
- [9] 苏建宁. 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, 2016, 37(3): 47—50.
SU Jian-ning. Product Modeling Design Based on Perceptual Engineering and Neural Network[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2016, 37(3): 47—50.
- [10] 李永锋. 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): 136—141.
LI Yong-feng. Research on Design of Product Image Based on Neural Network. Packaging Engineering[J]. 2009, 30(7): 136—141.
- [11] CHEN C F. A Neural Network Approach to Eco-product Form Design[C]. Electronics and Applications(ICIEA), 2010.
- [12] HSIAO S W. A Neural Network Based Approach for Product Form Design[J]. Design Studies, 2002(23): 67—84.
- [13] LAI H H. Form Design of Product Image Using Grey Relational Analysis and Neural Network Models[J]. Computers & Operations Research, 2005, 32(10): 2689—2711.
- [14] CHIH-CHIEH Yang. Classification-based Kansei Engineering System for Modeling Consumers' Affective Responses and Analyzing Product Form Features[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(11): 382—393.

(上接第127页)

而本文并未对优化后的产品进行用户测试和体验反馈。关于全盲用户对改进后的导航产品的体验, 仍需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 王雅溪. 针对视障用户的网络界面无障碍设计探索[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
WANG Ya-xi. Exploration of Barrier Free Design for Visually Impaired Users' Network Interface[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2009.
- [2] 向昭颖. 无障碍设计理念及应用研究[J]. 机械设计, 2013, 30(7): 112—114.
XIANG Zhao-ying. Concept and Application of Barrier Free Design[J]. Mechanical Design, 2013, 30(7): 112—114.
- [3] 徐漪. 信息无障碍: 理念、现状、消除——以残疾人为研究视角[J]. 产业与科技论坛, 2013, 12(7): 21—22.
XU Yi. Information Accessibility: Concept, Status Quo and Elimination: from the Perspective of Disabled Persons[J]. Forum on Industry and Technology, 2013, 12(7): 21—22.
- [4] 张世颖. 信息无障碍: 概念及其实现途径[J]. 山东图书馆学刊, 2010(5): 37—41.
ZHANG Shi-ying. Accessibility of Information: Concept and Its Realization Path[J]. Shandong Library Journal, 2010(5): 37—41.
- [5] 张昆. 信息无障碍——提升用户体验的另一种视角[M]. 北京: 清华大学出版社, 2018.
ZHANG Kun. Accessibility of Information: Another Perspective to Enhance User Experience[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2018.
- [6] 张斐斐. 视力障碍学生人格特质与人际信任的关系研究[D]. 临汾: 山西师范大学, 2012.
ZHANG Fei-fei. The Relationship Between Personality Traits and Interpersonal Trust in Students with Visual Impairment[D]. Linfen: Shanxi Normal University, 2012.
- [7] COOPER A. 软件观念革命——交互设计精髓 4[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
COOPER A. Software Concept Revolution: The Essence of Interaction Design 4[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2015.
- [8] 王玉梅, 胡伟峰, 汤进, 梁峭. 基于用户体验旅程的旅游明信片服务设计[J]. 包装工程, 2016, 37(22): 158—163.
WANG Yu-mei, HU Wei-feng, TANG Jin, LIANG Qiao. Design of Travel Postcard Service Based on User Experience Journey[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(22): 158—163.
- [9] 陈鸿雁. 非视觉的深度感知——针对盲人的设计研究[J]. 美术学报, 2008(4): 62—66.
CHEN Hong-yan. Non-visual Depth Perception: Design Research for the Blind[J]. Journal of Fine Arts, 2008(4): 62—66.
- [10] 柴佳莉. 城市盲道的通用性设计原则与方法[J]. 艺术科技, 2017, 30(7): 9.
CHAI Jia-li. General Design Principles and Methods of Urban Blind Road[J]. Arts and Technology, 2017, 30(7): 9.