

基于 BP 神经网络的飞行器外观设计评价模型

马辉

(安徽文达信息工程学院, 合肥 230000)

摘要: **目的** 建立基于 BP 神经网络的飞行器外观设计评价模型, 使飞行器外观设计更加科学化、符合实际需求。**方法** 基于 BP 神经网络的飞行器外观设计评价方法是通过建立综合评价指标体系, 并组织专家对样本进行评判打分, 得到神经网络的训练、检验数据, 由 MATLAB 仿真计算出各项指标的权重关系, 并提炼出反应各项评价指标和综合评价结果的非线性关系。**结论** BP 神经网络的评价模型降低了综合评价法、层次分析法评价过程中主观因素的影响, 能够客观、全面地对飞行器外观设计做出评价, 为选择最优的飞行器外观设计提供有效的参考依据。

关键词: BP 神经网络; 飞行器外观设计; 评价模型; 产品设计; 工业设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)18-0129-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.18.025

Evaluation Model of Aircraft Exterior Design Based on BP Neural Network

MA Hui

(AnhuiWenda University of Information Engineering, Hefei 230000, China)

ABSTRACT: Through establishment of evaluation model based on BP neural network, the aircraft exterior design is more scientific and truthful. The model is designed to chalk up neural network's training and inspecting data, through building comprehensive evaluation index system and organizing experts into judging and marking for the sample data. We use MATLAB to simulate and calculate the weight relation of every index, then refine the non-linear relationship between the indexes and comprehensive evaluation results. Evaluation model based on BP neural network reduces the influence of subjective factors in the process of comprehensive evaluation, and hierarchical analysis. In addition, the model can make evaluation of the aircraft exterior design, objectively and roundly, and give a effective reference to select the optimal aircraft exterior design scheme.

KEY WORDS: BP neural network; aircraft exterior design; evaluation model; product design; industrial design

随着现代控制理论和电子控制技术提高, 飞行器取得了飞跃性的发展^[1]。由于飞行器体积小、具有较高的机动性、很强的反侦察能力, 军事使用前景十分广阔。与此同时, 飞行器被广泛用于民用、工业和建筑等地理环境特殊、工作环境危险的领域, 不仅提高了工作效率还保证了工作人员的安全^[2]。飞行器在人类生活中扮演着越来越重要的角色, 因此对其工作能力、外观设计等方面的设计要求越来越高。本文提出基于人工神经网络的综合评价法^[3]对飞行器外观设计方案进行评价, 结合定量评价与定性评价, 从而得到更为可靠、真实的评价结果, 为飞行器外观设计的

发展和应用提供可靠支撑^[4]。

1 人工神经网络

人工神经网络模仿了人脑认识事物过程中针对事物进行判断分析的学习状态, 最终解决不同领域的所出现问题。人工神经网络具有较好容错性, 权重描述变量与目标之间的非线性关系可以通过其良好的非线性逼近能力进行研究^[5]。常用的用来解决非线性问题的一种人工神经网络算法是三层结构的 BP 神经网络。若想得到相关神经元之间连接的权重, 并且反映

收稿日期: 2018-06-09

作者简介: 马辉(1987—), 男, 山西人, 安徽文达信息工程学院讲师, 主要研究方向为工业产品设计。

出不同领域的问题各因素与结果之间的相互影响关系,首先需要找出对应问题的样本数据,以此作为神经网络训练的样本,然后对神经网络做出相应的训练,接着将对问题的特征参数描述作为神经网络的数值输入,神经网络输出的问题就是待求的结果,最后经过神经网络算法的运算得到对应问题求解结果^[6]。

2 多指标综合评价模型

2.1 多指标综合评价模型的构建

多指标综合评价模型的构建共需要 4 个步骤:

(1) 建立评价指标体系,细化需要解决问题的影响因素;(2) 针对多项指标进行归一化处理,主要是减小不同量纲对最终评价结果带来的不利影响;(3) 输入经过归一化的评价指标,输出为评价结果,神经网络的每项评价指标的系数权重由神经网络做出充分训练后得到;(4) 通过评价指标的属性值和神经网络的训练最终得到待评价问题的数值,即客观评价结果。专家通过客观的评价结果以及自己的经验与主观判断,给出最优方案。在应用 BP 神经网络解决多指标综合评价的问题时,做出评价结果不仅满足现实问题在主观性的要求,也满足客观性上的要求。

2.2 多指标综合评价模型结构

BP 神经网络和数据预处理构成了多指标综合评价模型的 2 个部分。按照一定规则归一化处理相应的指标,并且降低不同指标、不同量纲对最终评价结果的影响即评价模型的数据预处理;神经网络中的三层 BP 神经网络分为输入层、输出层以及隐含层。评价指标的个数决定了网络输入层节点数 m ; 问题求解过程中的计算量、评价结果的准确性由隐含层的单元数决定;评价结果决定了输出层节点数 $n=1$ 。按照经验公式 $L=(m \times n)^{1/2}$ ^[7] 确定隐含层的单元个数。三层神经网络的多指标综合评价模型的拓扑结构见图 1。

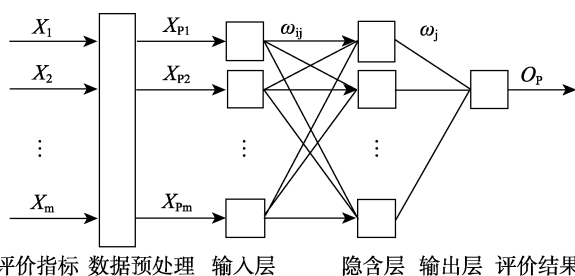


图 1 多指标综合评价模型拓扑结构
Fig.1 Topological structure of multi index comprehensive evaluation model

3 构建人工神经网络的多指标综合评价模型

3.1 对指标属性值进行归一化处理

各评价指标的指标属性值通常采用映射原理进行归一化处理,包括定量指标和定性指标。定量指标

通常指不同的数量级和量纲级,效益型指标是优劣与指标属性值成正相关的关系,成本型指标优劣与指标属性值成负相关的关系。多个评价指标的各项指标之间明显性差异,具有不同的数量级和量纲级。为了将各项指标的属性值映射到评价体系中的闭区间 $[0,1]$,首先需要得到评价体系中各项指标的极值 U_{\max} 和 U_{\min} ,极值将遵循以下原则对评价指标进行归一化处理。

1) 成本型指标:

$$r_i = \frac{U_{\max} - U_i}{U_{\max} - U_{\min}}$$

2) 效益型指标:

$$r_i = \frac{U_i - U_{\max}}{U_{\max} - U_{\min}}$$

式中: U_i 为相关评价指标集。

3) 区间:

$$\begin{cases} r_i = \frac{U_i - U_{\min}}{U_{\text{avg}} - U_{\min}} (U_{\min} \leq U_i \leq U_{\text{avg}}) \\ r_i = \frac{U_i - U_{\max}}{U_{\text{avg}} - U_{\max}} (U_{\text{avg}} \leq U_i \leq U_{\max}) \\ r_i = 0 (U_{\max} \leq U_i, U_i \leq U_{\min}) \end{cases}$$

式中: U_i 为相关评价指标集。

3.2 三层 BP 神经网络的训练算法

BP 神经网络是一种以 S 函数作为其神经元间的传递函数的多层前馈型神经网络。BP 神经网络可以输入到输出的任意非线性映射的实现。BP 神经网络训练算法流程如下^[7]: (1) 初始化神经元之间的权重;(2) 通过预处理对应问题的样本数据得到训练样本以及期望输出集;(3) 获取神经网络中各层的输出;(4) 获取神经网络中各层的误差;(5) 通过反向传播修正神经网络权重以及阈值;(6) 重新得到训练样本、输出集,返回 (2), 计算结果直至满足预先设定精度要求;(7) 如不满足设定的精度要求或最低训练次数,重新返回 (6)。

4 建立飞行器外观设计评价模型与结果分析

4.1 建立飞行器外观设计评价指标

关于飞行器外观设计评价从功能性、经济性、象征性、创新性、制造工艺可行性、环境适应性、艺术审美性、可持续发展性、人机协调性共 9 个方面进行,选择巡航能力、盘旋能力等 23 个评价指标组成评价指标体系。详细评价指标见表 1。

4.2 获取飞行器外观设计样本数据

确定表 1 中的飞行器外观设计综合评价指标后,采用专家评判方法组织专家对 24 种典型飞行器外观设计做出评判。通过已掌握的飞行器外观设计的资料对现有的飞行器外观进行综合评价。参与评价模型的其中两个样本见图 2。

表 1 飞行器外观设计综合评价指标
Tab.1 Comprehensive evaluation index of aircraft exterior design

评价准则	评价指标
功能性	航能力
	盘旋能力
	起降性能
	升限
经济性	生产成本
	使用成本
	经济效益
象征性	象征功能 语义延伸
创新性	原理 结构
制造工艺可行性	工艺难度 开发价值
环境适应性	环境适宜 绿色环保
艺术审美性	造型
	色彩
	装饰
可持续发展性	动力来源
	材料应用
人机协调性	人机交互
	人机界面
	用户体验



图 2 飞行器外观设计方案样本
Fig.2 Aircraft exterior design sample

运用专家评判方法得到专家的权威性评价结果，见表 2。将评价结果中的前 16 组数据作为神经网络的训练样本，评价结果中的后 8 组数据用于网络校验。

表 2 专家评价结果
Tab.2 The results of expert evaluation

样本编号	1	2	3	4	5	6	7	8
评价得分	0.623	0.424	0.766	0.742	0.504	0.818	0.742	0.536
样本编号	9	10	11	12	13	14	15	16
评价得分	0.518	0.822	0.868	0.736	0.614	0.869	0.416	0.679
样本编号	17	18	19	20	21	22	23	24
评价得分	0.721	0.598	0.813	0.759	0.633	0.649	0.536	0.685

4.3 BP 神经网络模型的算法步骤

4.3.1 确定神经网络模型中各神经网络单元数

根据表 1 所列的飞行器外观设计综合评价指标，确定神经网络模型中神经网络共 23 个神经元，因此输入层为 23 个评价指标；按照经验公式 $L = (m \times n)^{1/2}$ 确定神经网络模型中隐含层的节点数为 3；确定神经网络模型中神经网络输出层 [0,1] 内的一个代数值，因此只有一个神经元。[0,1] 表示对飞行器外观设计评价模型的评价结果，数值越接近 1 表明该方案飞行器外观设计更加优越、合理。

4.3.2 初始化神经网络

采用常用工具 MATLAB 进行函数训练，确定

Trainscg 为训练函数，将输入层、隐含层、输出层节点数分别为 23, 3, 1 的人工神经网络，最后将网络学习精度设置为 10^{-7} 。

4.3.3 训练神经网络

根据表 2 中的前 16 组数据训练神经网络，通过 MATLAB 工具进行函数训练不断的循环迭代，满足学习精度要求后停止。通过训练神经网络找出反应输入与输出之间的非线性关系映射函数，并且得到神经网络内部各项指标的权重关系，神经网络的训练结果见表 3。

4.3.4 校验神经网络

输入表 2 中的后 8 组数据，根据后 8 组校验数据得到综合评价结果，见表 4。

表3 网络训练结果
Tab.3 The training results of neural network

样本编号	1	2	3	4	5	6	7	8
训练结果	0.626	0.458	0.778	0.744	0.503	0.843	0.701	0.555
期望输出	0.625	0.458	0.779	0.744	0.503	0.847	0.702	0.554
样本编号	9	10	11	12	13	14	15	16
训练结果	0.505	0.819	0.852	0.736	0.614	0.865	0.410	0.677
期望输出	0.508	0.817	0.852	0.735	0.614	0.866	0.417	0.679

表4 网络测试结果
Tab.4 The testing results of neural network

样本编号	1	2	3	4	5	6	7	8
训练结果	0.720	0.599	0.813	0.755	0.636	0.647	0.533	0.685
期望输出	0.741	0.612	0.783	0.745	0.607	0.719	0.534	0.688
相对误差%	2.83	2.12	-3.83	-1.34	-4.56	10.01	0.19	0.44

表4显示最大误差约10%，最小误差约0.19%，得出网络输出结果与专家评价结果误差相差很小。这说明经过训练后的神经网络对飞行器外观设计评价的问题具有适应性，运用此方法可以对飞行器外观设计进行综合评价。

5 结语

利用BP神经网络对飞行器外观设计实例进行设计评价，经过MATLAB工具的仿真计算出各指标之间的权重关系，经过训练后的神经网络对飞行器外观设计评价的问题具有适应性与可靠性，为飞行器外观设计过程中不确定性因素提供了数学依据，从而有助于降低设计风险，同时提高数学评价模型在外观设计方案最优选择中的实用性^[8-13]。

参考文献:

- [1] 党举红. 飞行器设计发展研究报告[A]. 航空科学技术学科发展报告, 2014.
DANG Ju-hong. Research Report on Design and Development of Aircraft[A]. Aeronautical Science and Technology Discipline Development Report, 2014.
- [2] 程学功. 四轴飞行器的设计与研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2013.
CHENG Xue-gong. Design and Research of Four Axis Aircraft[D]. Hangzhou: Hangzhou Electronic University, 2013.
- [3] 赵川, 杨育, 杨洁. 基于BP神经网络的客户协同创新工作评价研究[J]. 科技管理研究, 2009(7): 164—167.
ZHAO Chuan, YANG Yu, YANG Jie. Research on the Evaluation of Customer Collaborative Innovation Based on BP Neural Network[J]. Science and Technology Management Research, 2009(7): 164—167.
- [4] 马超民. 基于品牌战略的产品设计评价标准[J]. 包装工程, 2007, 28(6): 116—118.
MA Chao-min. Product Design Evaluation Standards Based on Brand Strategy[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(6): 116—118.
- [5] 王玉梅. 基于BP人工神经网络方法的组织知识创新与创新人才素质提高协同发展评价[J]. 科技进步与对策, 2013(9): 148—152.
WANG Yu-mei. Based on BP artificial Neural Network Method of Organizational Knowledge Innovation and Innovative Talents Improve Collaborative Development Evaluation[J]. Science and Technology Progress and Policy, 2013(9): 148—152.
- [6] 陈建国. 基于BP人工神经网络的绿色施工评价方法研究[J]. 基建优化, 2013(9): 148—152.
CHEN Jian-guo. A Green Construction Evaluation Model Based on BP Neural Networks[J]. Optimization of Capital Construction, 2013(9): 148—152.
- [7] 李元松. 基于模糊神经网络的边坡稳定性评价方法[J]. 武汉理工大学学报, 2013(9): 148—152.
Li Yuan-song. A Green Construction Evaluation Model Based on BP Neural Networks[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2013(9): 148—152.
- [8] 王晓慧, 覃京燕. 基于深度学习的情感化设计[J]. 包装工程, 2017, 38(6): 12—16.
WANG Xiao-hui, QIN Jing-yan. Emotional Design Based on Depth Learning[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(6): 12—16.
- [9] 金海明. 工业产品造型设计评价的探讨[J]. 包装工程, 2007, 28(7): 151—152.
JIN Hai-ming. Discussion on Industrial Product Shape Design Evaluation[J]. Packaging Engineering, 2007(7): 151—152.
- [10] 潘萍. 产品形态创新设计及其评价体系研究现状与趋势[J]. 机械设计, 2012(5): 1—5.

- PAN Ping. Research Status and Trend of Product Form Innovation Design and Evaluation System[J]. Journal of Machine Design, 2012(5): 1—5.
- [11] 殷润元. 产品设计中感官评价的要素分析与质量控制[J]. 包装工程, 2009, 30(10): 128—130.
- YIN Run-yuan. Element Analysis and Quality Control of Organoleptic Evaluation in Product Design[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10): 128—130.
- [12] 钟欣. 基于层次分析法的电子产品概念设计评价研究[J]. 包装工程, 2008, 29(11): 108—111.
- ZHONG Xin. Research on Evaluation of Conceptual Design of Electronic Products Based on AHP[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(11): 108—111.
- [13] 杨君顺. 基于系统理论的产品设计及其评价体系的建立与研究[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 233—234.
- YANG Jun-shun. Research of Product Design and Its Evaluation System Based on System Theories[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(4): 233—234.