

家庭服务机器人整体造型感性设计的 BP 神经网络应用

朱彦

(上海电机学院, 上海 200245)

摘要: **目的** 建立用户的感性意象与家庭服务机器人整体造型设计要素之间的逻辑关系。**方法** 基于技术支撑的约束得到家庭服务机器人整体造型设计样本, 运用主成分分析法、形态分析法和 BP 神经网络对整体造型设计要素与感性意象进行量化分析。**结论** 用训练后的 BP 神经网络进行预测模拟, 为家庭服务机器人整体造型的较“亲和的”感性风格设计提供了参考依据。

关键词: 家庭服务机器人; 感性工学; 主成分分析法; 形态分析法; BP 神经网络

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)04-0151-04

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.04.029

BP Neural Network for the Overall Shape Perceptual Design of Home Service Robots

ZHU Yan

(Shanghai Dianji University, Shanghai 200245, China)

ABSTRACT: The logical relationship between users perceptual image and the design elements of home service robots is established. The samples of overall shape of home service robots are obtained based on the constraints of technical support, and the relationship between the design elements of overall shape and the perceptual image is analyzed quantitatively by using the methods of principal component analysis, morphological analysis and BP neural network. The trained BP neural network is used to predict the simulation, which provides a reference for the more amiable style of the overall shape of home service robots.

KEY WORDS: home service robots; Kansei engineering; principal component analysis; morphological analysis; BP neural network

国际机器人联合会将替人类完成有益的服务活动, 但不从事生产的全自主或半自主机器人定义为服务机器人^[1]。在全球老龄化日益严重的背景下, 服务机器人是应对这一趋势的核心手段^[2]。如何让服务机器人为老年人提供日常的生活支援和情感陪护, 已成为设计师的重要研究课题。家庭服务机器人是为用户服务的消费型产品, 在外观造型、人机交互等方面均有更高的要求, 只有运用数理分析方法建立用户的感性意象与机器人整体造型设计要素之间的逻辑关系, 才能更科学的进行产品造型设计及评价。

1 感性工学与神经网络在产品造型设计中的应用

感性工学是运用工程技术手段探讨“人”的感性与“物”的设计特性间关系的理论和方法^[3], 它可以系统挖掘产品的感性意象并将其转化为产品设计要素^[4]。近年来, 设计学者一直致力于运用现代化的计算机辅助技术将用户模糊不清的情感转换为定量的数据^[5], 用于指导产品造型设计。傅业焘等^[6]提出一种产品族外形基因设计方法, 建立了产品造型的风格意象和外形

收稿日期: 2017-11-12

基金项目: 863 计划资助项目 (2007AA041600); 教育部高等学校青年骨干教师国内访问学者项目 (A1-5201-15-001-06)

作者简介: 朱彦 (1979—), 女, 硕士, 上海电机学院副教授, 主要研究方向为机器人工业设计、机电产品工业设计与感性工学。

基因之间的映射模型。苏珂等^[7]运用模糊层次分析法构建了产品材质意象决策支持模型,并用座椅案例验证了该方法的有效性。以往的研究^[8]运用语义差异法描述服务机器人的整体外形风格,用层次分析法表达用户需求,为方案评估提供了一定的判定依据。朱彦等^[9]运用感性工学和 BP 神经网络定量描述服务机器人头部形态设计要素和用户感性意象评价之间的关系,并建构了头部形态设计系统。现有的研究均没有对感性工学在家庭服务机器人产品整体造型设计中的运用进行深入挖掘,难以验证和提高该类型产品的设计评价模型的准确度,无法形成系统的家庭服务机器人整体造型设计方法。本文运用主成分分析法与 BP 神经网络,对家庭服务机器人整体造型设计要素和用户的感性意象进行定量化分析,并通过测试验证模型的有效性,提高产品造型设计与评价的准确性。

2 家庭服务机器人整体造型设计要素与感性意象量化分析

2.1 家庭服务机器人整体造型设计的约束条件

本文中研究的家庭服务机器人整体造型设计受到现有技术支撑的约束,基于驱动底座和内部支架结构而设计,驱动底座的顶圆直径为 485 mm,底座高 430 mm,见图 1。同时,机器人的总身高为 1000 ~ 1200 mm,否则会影响机器人行走的稳定性。因此,机器人只能是轮式行走机器人,身体部分的壳体选择筒状的圆柱形设计,才能以最小的体积将庞大的驱动底座包容进壳体内部。

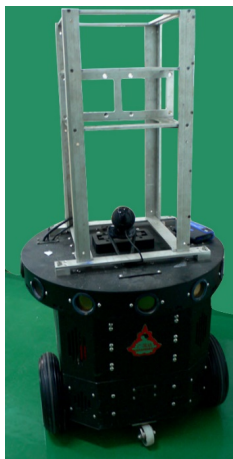


图 1 驱动底座和内部支架
Fig.1 Driving base and internal support

2.2 家庭服务机器人整体造型样本分析

根据已有技术支撑的约束,最终确定了 20 个典型方案作为分析样本,部分样本见图 2。

通过问卷形式收集汇总了用来描述家庭服务机

器人整体造型感性意象的形容词,共计 105 组。综合专家意见,经过进一步评估和筛选,保留了 12 组最常用的词汇作为感性评价量尺,分别是:优美的—丑陋的,安全的—危险的,现代的—传统的,简洁的—复杂的,高雅的—俗气的,男性的—女性的,成熟的—幼稚的,亲和的—疏远的,轻松的—严肃的,活泼的—呆板的,前卫的—落后的,结实的—脆弱的。



图 2 部分样本
Fig.2 Part of samples

2.3 主成分分析法与感性意象词汇确定

本文用七点量表的语义差异法对以上 12 组感性意象词汇设计调查问卷。要求受测者根据 12 组词汇对 20 个典型样本评分。例如,针对“优美的—丑陋的”这一评价量尺,区间值为 7,评分为“1”表示该样本“倾向于优美的”,评分为“4”表示“处于中立”,评分为“7”表示“倾向于丑陋的”。发放调查问卷 70 份,回收有效问卷 60 份,其中有 40 人为了解或使用过家庭服务机器人的用户。用主成分分析法进行分析,获得因子分析结果,见表 1。

由表 1 可见,12 组感性意象词汇中“亲和的—疏远的”对家庭服务机器人整体造型设计的风格影响最大,因此以这一组词汇作为进一步分析的评价量尺。

2.4 形态分析法与关键造型设计要素提取

形态分析法根据形态学分析事物,其特点是把研究对象或问题,分成一些基本组成部分,然后对某一个基本组成部分单独处理,分别提供解决问题的办法,最后形成解决整个问题的总方案^[10]。本文采用形态分析法将对典型样本整体造型设计风格起决定作用的要素分解为头部、面部显示屏、身体、底座,每个要素又分为 2 ~ 5 种类型,见表 2。

表 1 因子载荷矩阵
Tab.1 Factor loading matrix

感性意象词汇	主成分		
	主成分1	主成分2	主成分3
优美的—丑陋的	0.892	0.141	0.286
安全的—危险的	0.881	0.156	0.005
现代的—传统的	0.823	-0.321	0.191
简洁的—复杂的	-0.098	0.909	-0.165
高雅的—俗气的	0.872	0.181	0.032
男性的—女性的	0.816	0.162	-0.067
成熟的—幼稚的	0.567	0.211	0.738
亲和的—疏远的	0.921	0.121	-0.193
轻松的—严肃的	0.742	0.715	0.015
活泼的—呆板的	-0.425	0.099	0.838
前卫的—落后的	0.625	-0.113	-0.075
结实的—脆弱的	0.311	0.655	0.026

表 2 家庭服务机器人的整体造型设计要素
Tab.2 Integral design elements of home service robots

造型设计要素	类型				
	1	2	3	4	5
头部X ₁	 球形	 椭球形	 圆柱形	 圆台形	 有机形
面部显示屏X ₂	 长方形	 圆形	 腰形	 梯形	
身体X ₃	 圆柱形	 圆柱切面	 圆台形		
底座X ₄	 圆柱形	 圆柱切面			

2.5 感性意象评价矩阵构建

根据前述分析得到的感性评价平均值和家庭服务机器人整体造型设计要素，建立 20 个典型样本关于“亲和的—疏远的”的感性意象评价矩阵，见表 3。

3 BP 神经网络的应用

3.1 网络构建

基于 Matlab R2010 软件平台，运用 BP 神经网络对表 3 中的数据进行学习。经过多次比对和分析，最终确定网络为 3 层，包括输入层、隐层和输出层。输入层是 4 个设计元素的编号组合，节点数为 4，选择 logsig 为传递函数；隐层有 4 个神经元，采用 purelin 传递函数；输出层是关于“亲和的—疏远的”这一量尺的感性评价均值，节点数为 1。

3.2 网络训练

将表 3 中前 15 个样本的数据输入网络进行训练。设定 BP 神经网络的学习次数为 10000，误差目标值为 0.001，采用梯度下降法，用均方差衡量结果。网络在训练了 763 次时达到训练目标，实际训练的误差值为 0.00991，见图 3。

表 3 感性意象评价矩阵
Tab.3 Matrix of perceptual evaluation

样本	造型设计要素				亲和的—疏远的 感性意象评价均值
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
1	2	3	1	1	1.933
2	2	4	2	2	2.033
3	3	1	1	1	3.983
4	4	4	2	1	6.466
5	1	2	1	1	2.717
6	2	1	1	1	3.417
7	3	3	2	2	4.516
8	1	2	2	1	3.217
9	2	2	3	1	2.083
10	4	3	1	1	6.183
11	5	2	3	1	4.883
12	1	4	1	1	3.533
13	4	3	3	1	5.983
14	1	1	2	1	3.617
15	1	3	2	2	3.483
16	5	4	1	1	4.933
17	3	4	2	1	5.183
18	3	2	1	1	4.283
19	5	3	3	1	5.083
20	5	1	2	1	5.016

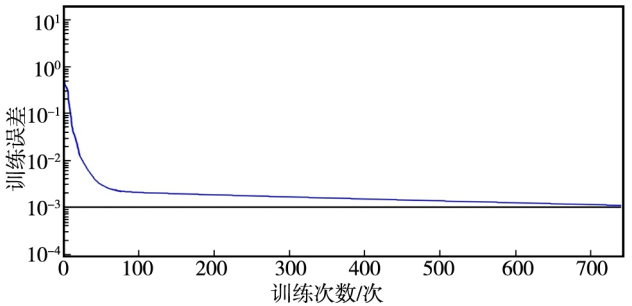


图 3 训练结果

Fig.3 Results of training

3.3 网络测试

用剩余 5 个样本的数据验证已完成训练的网络可靠性，将设计元素组合导入网络的输入层，将输出值与问卷的用户评价数据进行比较，结果见表 4。用户的实际感性评价均值与网络预测的感性评价均值相对误差不大，说明网络准确映射了本文中家庭服务机器人整体造型设计要素与感性评价均值。

表 4 测试结果
Tab.4 Test results

样本	实际感性评价均值	预测感性评价均值	相对误差/%
16	4.933	5.069	2.76
17	5.183	4.976	3.99
18	4.283	4.408	2.92
19	5.083	4.932	2.97
20	5.016	4.947	1.38

3.4 网络预测模拟

本文中家庭服务机器人共有 4 个决定性的设计要素,其所有的组合方式有 120 种,导入神经网络的输入层并计算相对应的感性评价均值。网络运算后得到关于“亲和的一疏远的”家庭服务机器人的 120 种整体造型设计方案,其中感性评价最小值为 1.853,最大值为 6.736,分别对应的设计要素组合编号 X1X2X3X4 分别为 1、3、1、1 和 5、4、2、1,说明前一组设计要素组合产生的整体造型是最亲和的,后一组是最疏远的。当需要设计较“亲和的”风格的家庭服务机器人时,在造型设计要素方面可以更多的关注头部形态趋于球形、身体与底座形态趋于圆柱形等方面,从而能为整体造型设计提供一定的参考标准。

4 结语

本文基于感性工学的理论与方法,运用主成分分析法归纳出对现有技术支撑约束下的家庭服务机器人整体造型风格影响最大的感性评价量尺;通过形态分析法提炼出整体造型设计要素;构建 BP 神经网络模型,定量分析了整体造型设计要素与感性意向之间的关系;利用 BP 神经网络的预测模拟,为选定的某一感性风格设计归纳了一定的参考依据,从而可以为设计师在家庭服务机器人的整体造型方案设计阶段提供较为理性的设计模型,更加符合用户的感性需求。

家庭服务机器人的整体造型设计牵涉到很多复杂的因素。首先,不能仅仅依靠单一的感性风格评价量尺进行设计,在下一步的研究中可以考虑通过增加 BP 神经网络输出层的节点数而取得多个感性风格的评价均值,以满足多维的用户需求;其次,当技术支撑的约束条件改变时,必然会影响整体造型风格,从而改变造型设计要素的组成成分和数量,这些因素也会对 BP 神经网络的构建产生更多元化的影响。随着研究的进一步深入和拓展,基于感性工学的家庭服务机器人整体造型设计体系必将会有更全面的发展。

参考文献:

- [1] 于海. 服务机器人的发展动态与趋势分析[J]. 机械设计与制造工程, 2016(5): 68—70.
YU Hai. The Dynamic Development and Trend Analysis of Service Robot[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2016(5): 68—70.
- [2] 高峰, 郭为忠. 中国机器人的发展战略思考[J]. 机械工程学报, 2016(7): 1—5
GAO Feng, GUO Wei-zhong. Thinking of the Development Strategy of Robots in China[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016(7): 1—5.
- [3] 周美玉, 李倩. 神经网络在产品感性设计中的应用[J]. 东华大学学报, 2011(4): 509—513.
ZHOU Mei-yu, LI Qian. Application of Neural Network in Kansei Design[J]. Journal of Donghua University, 2011(4): 509—513.
- [4] 李永峰, 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(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(7): 8—12.
- [5] 孟瑞. 基于感性工学的油罐车设计评价研究[J]. 现代制造工程, 2011(9): 28—32.
MENG Rui. Evaluation Method of Tanker Design Based on Kansei Engineering[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2011(9): 28—32.
- [6] 傅业焘, 罗仕鉴. 面向风格意向的产品族外形基因设计[J]. 计算机集成制造系统, 2012(3): 449—458
FU Ye-tao, LUO Shi-jian. Style Perception-oriented Product Family Shape Gene Design[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012(3): 449—458.
- [7] 苏珂. 客制化产品材质意象决策支持模型[J]. 中国机械工程, 2011(14): 1723—1728.
SU Ke. Customized Product Material Image Decision Making Support Model[J]. China Mechanical Engineering, 2011(14): 1723—1728.
- [8] 朱彦. 基于感性工学的家庭服务机器人外形设计研究[J]. 包装工程, 2015, 36(14): 50—54.
ZHU Yan. A Study of the Form Design of Home Service Robots on Kansei Engineering Theory[J]. Packaging Engineering, 2015(14): 50—54.
- [9] 朱彦, 陈刚. 基于感性工学和 BP 神经网络的服务机器人头部形态设计研究[J]. 包装工程, 2016, 37(14): 63—67.
ZHU Yan, CHEN Gang. Head Shape Design of Service Robots on Kansei Engineering and BP Neural Network [J]. Packaging Engineering, 2016, 37(14): 63—67.
- [10] 李月恩, 王震亚, 徐楠. 感性工程学[M]. 北京: 海洋出版社, 2009.
LI Yue-en, WANG Zhen-ya, XU Nan. Kansei Engineering[M]. Beijing: Ocean Press, 2009.