

基于支持向量机的产品感性意象值预测方法

李永锋, 朱丽萍

(徐州师范大学, 徐州 221116)

摘要: 为设计出符合消费者感性需求的产品, 提出基于支持向量机的产品感性意象值预测方法。先确定产品的感性意象、造型设计要素以及感性评价矩阵。在此基础上, 以造型设计要素为自变量, 以感性意象评价值为因变量, 利用 LIBSVM 软件, 通过对惩罚函数、不敏感损失函数以及核函数等相关参数的分析设置, 建立产品感性意象值的预测模型。结合办公座椅进行研究, 结果表明支持向量机具有较高的预测精度, 所提出的方法是正确可行的。

关键词: 产品设计; 感性意象值预测; 支持向量机; 办公座椅

中图分类号: TB472 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2011)04-0040-04

Prediction Method of Product Kansei Image Value Based on Support Vector Machine

LI Yong-feng, ZHU Li-ping

(Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In order to design products that meet consumers' affective needs, prediction method of product kansei image value based on support vector machine was proposed. Firstly, product kansei images, form design elements, and kansei evaluation matrix were determined. Based on this, taking the form design elements as independent variables and the kansei evaluation values as dependent variables, the prediction model of product kansei image value was built using LIBSVM software through analyzing and setting the parameters of penalty function, insensitive loss function and nuclear function. An experimental study of office chair was conducted, and the results suggested that support vector machine had a better prediction performance, and the presented method was valid and feasible.

Key words: product design; prediction of kansei image value; support vector machine; office chair

随着科技的进步和生活品质的提升, 消费者对产品的需求逐渐趋于感性化, 产品的消费已从功能的满足转向对产品感性意象的心理满足^[1]。感性工学(Kansei Engineering, KE)是一项系统地挖掘人们对产品的感性并将其转化为产品设计要素的技术^[2]。目前, Mitsubishi, Toyota, Ford 等企业都已将感性工学应用到产品的设计中, 在很大程度上提升了其产品的市场竞争力。

在感性工学的研究中, 经常用神经网络对产品的感性意象值进行预测^[3], 但神经网络以传统统计理论为基础, 需要足够多的样本, 具有泛化能力差、过拟

合、易于陷入局部最优、寻找结构参数复杂等缺点。支持向量机(Support Vector Machine, SVM)是 Vapnik 等人于 1995 年提出的一种基于统计学习理论的模式识别方法^[4], 它以经验分类误差最小化和分类几何边缘最大化为学习目的, 能有效地避免过学习、维数灾难、局部极小等传统方法存在的问题, 而且在小样本条件下仍然具有良好的泛化能力。Wang^[5]等人对支持向量机在感性工学中的应用进行研究, 认为该方法适合于对产品的感性意象值进行预测。

以办公座椅为例, 在获取产品感性意象和造型设计要素的基础上, 基于 SVM 构建产品感性意象值的预

收稿日期: 2010-10-18

基金项目: 江苏省高校自然科学基金项目资助(10KJD460002)

作者简介: 李永锋(1979-), 男, 陕西富平人, 硕士, 徐州师范大学讲师, 主要从事产品设计、设计心理学、计算机辅助设计等方面的研究。

测模型。本研究可为企业设计出符合消费者感性需求的产品提供重要的理论指导。

1 支持向量机的基本原理

SVM 是从线性可分情况下的最优分类面发展而来。设样本集 $D=\{(x_i, y_i) | i=1, 2, \dots, n\}$, 其中: $x \in R^d$; y 为类别标号; $y \in \{-1, +1\}$; n 为样本的个数; d 为样本的维数。则分类面方程为 $w \cdot x + b = 0$, 分类间隔为 $\frac{2}{\|w\|}$, 采用最大间隔法求解最优分类面, 即:

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (1)$$

$$\text{s.t. } y_i[(w \cdot x_i) + b] - 1 \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, n$$

利用 Lagrange 优化方法, 把最优分类面问题转化为其对偶问题^[6]:

$$\max \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j y_i y_j (x_i \cdot x_j) \right] \quad (2)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0, \alpha_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中不为 0 的 α_i 对应的样本为支持向量。

若 α_i^* 为最优解, 则最优分类函数为:

$$f(x) \operatorname{sgn} \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i^* y_i (x_i \cdot x) + b^* \right] \quad (3)$$

式中: $\operatorname{sgn}()$ 为符号函数; b^* 为分类的阈值。

线性不可分时, 在式(1)中引入松弛变量 ξ_i , 目标函数如式(4), 变换过程与线性可分时的对偶问题类似。

$$\min \left[\frac{1}{2} \|w\|^2 + C \left(\sum_{i=1}^n \xi_i \right) \right] \quad (4)$$

$$\text{s.t. } \begin{cases} y_i [(w \cdot x_i) + b] - 1 + \xi_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ \xi_i \geq 0 \end{cases}$$

式中: $C > 0$ 为惩罚因子, 用于控制对错分样本惩罚的程度。

对于非线性问题, 通过核函数把样本空间映射到高维特征空间进行求解。计算时用内积函数 $K(x_i, x_j)$ 代替最优分类面中的点积, 就相当于把原特征空间变换到某一新的特征空间。

2 产品感性意象与造型设计要素

收集 125 个办公座椅的图片样本, 删除造型特殊

或相似的样本后, 选择 62 个进行多元尺度分析和聚类分析, 最终确定 6 个典型样本作为产品感性意象与形态分析的基础, 见图 1。



图1 办公座椅的典型样本

Fig.1 Representative samples of office chairs

2.1 产品感性意象

指使用者透过感官对产品所产生的直接联想^[7], 一般用形容词加以描述。产品的感性意象受产品的形态、色彩、材质等要素影响较大, 产品的使用环境与感性意象也有着密切的关系^[8], 同类产品的的设计因环境的不同应给人不同的感性意象, 对于办公环境中的座椅, 应主要给人以秩序、严肃、稳定等意象。此外, 同类产品的不同功能给人的感性意象也存在着差异, 如办公座椅的高度是否可调, 对活泼、实用、舒适等意象有直接影响。

通过访谈、调查、查阅资料等方法搜集了 139 对描述办公座椅的形容词, 采用 KJ 法将这些形容词归纳为 24 对。针对 6 个典型样本和 24 对形容词, 采用 7 等级语义区分法设计调查问卷, 应用因子分析法对调查结果进行分析, 共抽取了 5 个因子, 其累积可解释的总方差为 97.672%。最终确定的感性意象依次为“呆板的一活泼的”、“朴实的一豪华的”、“厚重的一轻巧的”、“不实用的一实用的”以及“不舒适的一舒适的”。在此仅以“呆板的一活泼的”为例进行研究。

2.2 形态分析

采用形态分析法将 6 个典型样本的形态分解为头枕、背框、椅背、腰靠、椅面、背框与椅面结合方式、扶手以及腿脚等 8 个造型设计要素^[9], 再将每个设计要素分为 2~4 种类型, 见表 1。

2.3 正交试验设计

由以上的造型设计要素和类型, 共产生造型 $3 \times 3 \times 2 \times 2 \times 3 \times 2 \times 4 \times 3 = 2592$ 种, 但是建立 2592 种

表1 办公座椅的造型设计要素
Tab.1 Form design elements of office chairs

造型要素	类型			
	1	2	3	4
头枕 (X ₁)	与椅背结合一体	独立	无	
背框 (X ₂)	方形	圆弧形	扁圆弧形	
椅背 (X ₃)	带网	不带网		
腰靠 (X ₄)	有	无		
椅面 (X ₅)	方形	圆角方形	圆形	
背框与椅面结合方式 (X ₆)	集成	分离		
扶手 (X ₇)	T形	L形	环形	无
腿脚 (X ₈)	五星脚	弓形	四腿式	

办公座椅的造型让被试进行评价是不现实的,本研究采用正交试验设计法从全面试验中挑选出部分有代表性的点进行试验^[10],将2 592种造型压缩到32种造型,使用全轮廓法构建产品卡片。

2.4 感性评价矩阵

对正交试验设计所确定的32款办公座椅,以“呆板的—活泼的”、“朴实的—豪华的”、“厚重的一轻巧的”、“不实用的一实用的”以及“不舒适的一舒适的”作为感性意象,制作调查问卷。邀请47名被试(男性23名,女性24名,年龄在20~22岁)进行调查,整理后的调查结果见表2(以“呆板的—活泼的”为例)。

表2 32款办公座椅的感性评价矩阵
Tab.2 Kansei evaluation matrix of 32 office chairs

序号	造型设计要素								“呆板的—活泼的” 评价价值
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	
1	3	1	1	2	2	1	2	3	2.902
2	3	1	1	1	1	2	3	1	5.399
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
32	2	1	1	1	3	1	2	2	4.295

3 预测模型的构建与分析

3.1 基于SVM的预测模型构建

以32款办公座椅感性评价矩阵中的造型设计要素为输入变量,以感性意象“呆板的—活泼的”的评价值为输出变量,构建SVM预测模型。采用LIBSVM软件进行SVM回归分析,该软件功能较全,提供源码,有许多默认参数,方便改进,应用效果较好^[11]。

SVM的类型选择第3类,即ε-SVR,为不敏感损失函数型的支持向量回归,其基本思想是通过非线性映射将样本数据映射到高维特征空间,然后在特征空间中进行线性回归,从而将非线性函数估计问题转化为线性函数估计问题^[12]。

核函数的选择对模型的预测精度有一定影响,相对其他核函数,径向基函数(Radial Basis Function, RBF)只有一个参数,易于优化,如式(5)^[13]。因此,核函数的类型选择第2类,即RBF。

$$K(x_i-x_j)=\exp(-\gamma \|x_i-x_j\|^2) \quad (5)$$

本研究中SVM预测模型的主要参数有3个,分别是惩罚因子C,核函数的γ以及不敏感损失函数的ε,通过gridregression.py进行参数寻优,可得其值分别为0.25,0.0625,0.0625。

3.2 模型预测性能的评价

为了能对SVM的预测性能进行比较评价,使用反向传播神经网络(Back Propagation Neural Network, BPNN)建立感性意象值的预测模型,该模型以产品造型要素的编码为输入层,以感性评价值为输出层。

重新构建6个样本作为测试样本,将SVM的预测值与BPNN的预测值进行比较,以均方根误差^[14](Root Mean Square Error, RMSE)和平均相对误差(Average Relative Error, ARE)作为评价指标。RMSE函数如式(6)。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i^* - y_i)^2}{n}} \quad (6)$$

式中:y_i^{*}为模型的预测值;y_i为被试评分;n为测试样本的数量。ARE函数如式(7),式中各参数的含义与RMSE相同。

$$ARE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i^* - y_i|}{y_i} \times 100\% \quad (7)$$

模型的预测性能见表3,对于6个测试样本,SVM

表3 模型的预测性能

Tab.3 The prediction performance of models

序号	被试 评分	预测值		相对误差/%	
		BPNN	SVM	BPNN	SVM
1	5.035	4.897	4.916	2.741	2.363
2	3.563	3.697	3.671	3.761	3.031
3	4.376	4.513	4.481	3.131	2.399
4	5.499	5.352	5.397	2.673	1.855
5	2.877	3.011	2.984	4.658	3.719
6	4.682	4.561	4.593	2.584	1.901
RMSE		0.148	0.115		
ARE				3.258	2.545

预测的RMSE为0.115小于BPNN的0.148,SVM预测的相对误差均小于BPNN预测的相对误差,SVM预测的ARE为2.545小于BPNN的3.258。因此,SVM的预测值与实际值较接近,预测性能优于BPNN。

4 结语

SVM具有拟合精度高、推广能力强和全局最优等特点。以办公座椅为例,对基于SVM的产品感性意象值预测方法进行研究。先确定了产品的感性意象、造型设计要素以及感性评价矩阵,再应用SVM构建了造型要素与感性意象之间的关系模型。研究表明,基于SVM的预测模型能有效地预测产品的感性意象值,这对于企业的产品设计具有重要意义。

需要指出的是,影响感性意象值的因素包括造型、色彩、材质等,仅以造型因素为基础对感性意象值进行预测分析,以后将综合多种因素进行研究。

参考文献:

- [1] 李永锋,朱丽萍.基于感性工学产品设计方法研究[J].包装工程,2008,29(11):112-114.
- [2] NAGAMACHI M. Perspectives and the New Trend of Kansei/Affective Engineering[J].TQM Journal,2008,20(4):290-298.
- [3] YEH C H, LIN Y C. Neural Network Models for Transforming

- Consumer Perception into Product Form Design[J].Lecture Notes in Computer Science,2006,3973:799-804.
- [4] FARQUAD Mah, RAVI V, RAJU S B. Support Vector Regression Based Hybrid Rule Extraction Methods for Forecasting[J]. Expert Systems with Applications,2010,37(8):5577-5589.
- [5] WANG K C, LIANG J C, LIN Y C. Form Design of CNC Machine Tools Using SVM Kansei Engineering Model[C].2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Singapore, Singapore.2008.(余不详)
- [6] 赵敏,郑崇勋,赵春临.利用小波分解和支持向量机的心理意识真实性识别研究[J].西安交通大学学报,2010,44(4):119-124.
- [7] YANAGISAWA H, MURAKAMI T. Factors Affecting Viewpoint Shifts When Evaluating Shape Aesthetics Towards Extracting Customer's Latent Needs of Emotional Quality[C].New York:2008 ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference,2008.
- [8] YOSHIMURA M, NISHIMURA T, IZUI K. Acquisition of Product Design Guidelines Considering User Kansei Data Pertaining to Product Environments[J].ASME Conference Proceedings,2005,4739X:81-90.
- [9] OSTROSI E, TIE Bi S. Generalised Design for Optimal Product Configuration[J].International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2010,49(1-4):13-25.
- [10] LIAO C S, LEE C W. The Application of Codesign in New Bra Product Innovations[J].International Journal of Clothing Science and Technology,2010,22(2):211-227.
- [11] 高峻峻,谭崇利,刘悦,等.一类产品需求预测的支持向量机方法[J].上海大学学报(自然科学版),2009,15(1):71-76.
- [12] 李焯,蔡云泽,许晓鸣.支持向量机在产品成分估计中的应用研究[J].自动化仪表,2006,27(4):8-11.
- [13] XIA J, HU X, SHI F, et al. Support Vector Machine Method on Predicting Resistance Gene Against *Xanthomonas Oryzae* pv. *Oryzae* in Rice[J].Expert Systems with Applications,2010,37(8):5946-5950.
- [14] SHIEH M D, FANG H E. Using Support Vector Regression in the Study of Product form Images[C].Boston:2008 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition,2008.