

# 一种基于改进 BP 神经网络的办公座椅舒适性评估方法

钟奇<sup>1</sup>, 郭钢<sup>2</sup>, 裴学胜<sup>1</sup>, 许娜<sup>2</sup>

(1.河南科技大学, 洛阳 471023; 2.重庆大学, 重庆 400044)

**摘要:** **目的** 提出一种基于改进 BP 神经网络 (PCA-BP) 的办公座椅舒适性评估方法。**方法** 对 4 款不同造型、材质的办公座椅进行臀部及背部 Tekscan 压力测试, 并通过五级 Likert 量表记录被试的心理舒适值。在多重相关性检验的基础上, 利用 PCA-BP 算法建立办公座椅舒适性的预测模型, 并对模型的有效性进行验证。**结论** 模型拟合的均方误差为 0.164, 预测值和心理值配对样本 t 检验显著相关, 相关系数为 0.918。与普通 BP 算法比较, 基于 PCA-BP 算法的办公座椅舒适性预测效果更佳, 为办公座椅舒适性评估提供了更好的评估方法。

**关键词:** 用户体验; 舒适性; 办公座椅; Tekscan; PCA-BP

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)04-0155-04

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.04.030

## Evaluation Method of Office Seat Comfort Based on Improved BP Neural Network

ZHONG Qi<sup>1</sup>, GUO Gang<sup>2</sup>, PEI Xue-sheng<sup>1</sup>, XU Na<sup>2</sup>

(1.Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, China;

2.Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**ABSTRACT:** A evaluation method of office seating comfort is put forward based on improved BP neural network (PCA-BP). 4 office chairs with different appearance and material for hip and back Tekscan stress are tested, and the value of psychological comfort through the five-level Likert scale is recorded. On the basis of the multiple correlation test, PCA and BP algorithm is used to establish the prediction model of office seating comfort, and the validity of the model are verified. The mean square error(MSE) is 0.164. Predictive and psychological value is significantly associated with paired samples T test and the correlation coefficient of 0.918. Compared with ordinary BP algorithm, prediction effect of the office seat comfort is better based on PCA-BP algorithm, which provides a better evaluation method for the office seat comfort.

**KEY WORDS:** user experience; comfort; office chair; Tekscan; PCA-BP

在用户和办公座椅的交互中, 舒适性是一个重要因素。如今, 坐姿占据越来越多的时间。Reinecke S M 等<sup>[1]</sup>指出, 大约在 75% 的工业国家, 所有员工的工作都被要求采用坐姿作业; Holtermann A 等<sup>[2]</sup>指出, 几乎每个员工都经历过一次又一次下背痛; De Looze M P 等<sup>[3]</sup>指出, 雇主应该意识到为员工提供一个舒适的工作环境的重要性, 以确保他们的健康和福利。办公座椅的舒适性评估一直是研究的热点<sup>[4-5]</sup>, 但是舒适与否是基于主观感觉的, 很难量化。

## 1 研究框架

用户体验的测量包括主观评价和客观评价, 目前获得座椅舒适水平的方法有主观评价和客观评价。Roland Z 等<sup>[5]</sup>论述了 Tekscan 压力测试与办公座椅舒适性的研究进展, Baumgartner D 等<sup>[6]</sup>通过 MRI 图像研究了直立、下弯以及向前倾斜的坐姿脊柱形状, 这些都奠定了坐姿舒适性的研究基础。唐立华<sup>[7]</sup>和申明明<sup>[8]</sup>利用多元统计方法, 分析研究了不同坐姿和办公

收稿日期: 2017-11-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51375510)

作者简介: 钟奇 (1993—), 男, 江苏人, 河南科技大学硕士研究生, 主攻用户体验测试评价、智能汽车人机交互设计。

通讯作者: 郭钢 (1960—), 男, 重庆人, 重庆大学教授、博导, 主要研究方向为工业设计、人机交互、用户体验与智能制造等。

座椅特征对舒适性的影响,但割裂了各项压力指标之间的相关关系,无法做到全面稳健评估;此外,他们招募的被试数量低,很难达到统计学意义。

在建立多项压力数据与心理舒适值的拟合模型时,臀部及背部各个压力指标之间的多重相关性一直是不可避免的问题。在普通的回归分析中,变量的多重相关性会严重危害参数估计、扩大模型误差,解决上述问题的常用方法有岭回归、逐步回归和偏最小二乘回归,但其本质上都属于线性回归,具有局限性。人工神经网络具有很强的非线性函数逼近能力、自适应学习能力、容错能力和并行信息处理能力<sup>[9]</sup>,在一定程度上能模拟出大脑的认知过程,相比于统计学方法预测误差更小,马佳等<sup>[10-11]</sup>运用BP和模糊神经网络建立了汽车座椅舒适性模型,但是只分别选用了6种和8种压力参数,忽略了一部分信息。基于统计机器学习的支持向量机具有很好的小样本预测能力<sup>[12]</sup>,但输入变量多,训练速度慢,间接影响着模型的整体效果。本文在总结上述研究方法的基础上,提出一种基于PCA-BP神经网络的办公座椅舒适性评估方法,研究框架见图1。

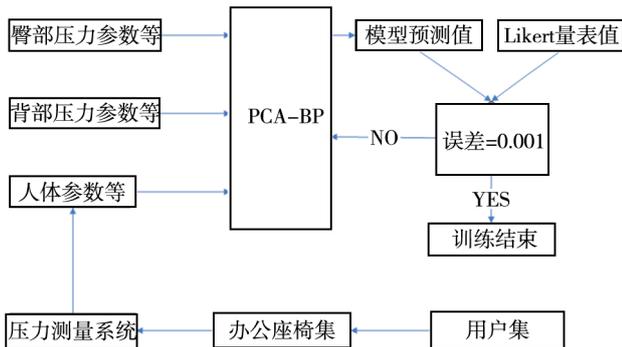


图1 办公座椅舒适性研究框架  
Fig.1 Research framework of office seat comfort

## 2 实验

### 2.1 被试

30个被试(男女各15人)均来自河南科技大学,年龄为18~30岁(平均25.33岁,方差为1.872),身高为155~183mm,体重为50~87kg,基本符合正态分布,且能基本覆盖中国人体尺寸的90%。所有被试者均无残疾,健康状况良好,实验前一天未进行剧烈的体力活动,并且均无肌肉疲劳现象。

### 2.2 实验过程

实验时被试可任意调整座椅姿势。过程中,受试者不得多讲话,向实验人员报告舒适状况时避免大声或激动。实验测试臀部和背部共12种压力指标值、3种人因参数(身高、性别、体重)和李克特量表值,共获得120组有效数据。

### 2.3 实验设施

实验在一间可用性测试实验室进行,面积约15m<sup>2</sup>,保持实验环境安静不受干扰。采用美国Tekscan公司所提供的体压分布测量系统(BPMS)测试人—椅界面压力分布数据。测试时,首先将压力传感垫置于人与靠背面和人与座椅面之间,待压力分布相对稳定后进行记录,记录时间为5min,采样率为8Hz。从实验过程中获得的压力分布记录文件,可以转换成一般电脑可以读取的压力矩阵ASCII纯文本文档,将此ASCII文档导入Excel,作为数据分析的基础。

### 2.4 关键技术

在建立用户舒适性评价模型中,考虑到各相关变量和心理值之间多重共线性,使用PCA-BP神经网络算法作为关键技术,有效利用主成分的降维思想,抽取对舒适性影响较大的变量,并导入Matlab神经网络工具箱进行训练及预测。输入矢量矩阵包括压力变量和人因变量,见式(1)。

$$P=[\text{靠背面总压力, 平均压力, 最大压力, 接触面积, 平均压力梯度, 最大压力梯度, 臀部面总压力, 平均压力, 最大压力, 接触面积, 平均压力梯度, 最大压力梯度, 身高, 性别, 体重}] \quad (1)$$

112组样本数据作为训练样本,  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{112}$ ; 输出样本  $T$  是李克特量表值。由于神经网络实际输出值在[0,1]之间,所以需要将期望输出进行尺度变换处理。根据网络的实际输出  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{112}$  与目标矢量  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_{112}$  之间的误差修改其权值,当网络在允许的误差范围内且实际输出逼近于希望输出值的结果已满足要求而自动收敛则训练完成,各相关变量和心理舒适值之间的关系模型见图2。

当训练完成后,利用剩余8组样本数据作为预测样本,用模型输出值与李克特量表中该用户的心理舒适值进行对比分析。

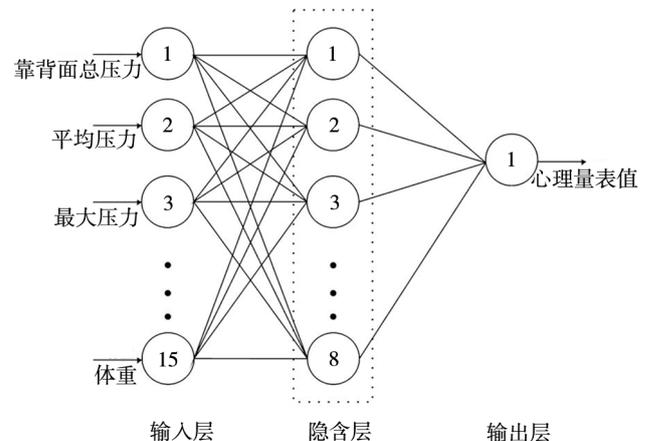


图2 各相关变量和心理舒适值的非线性关系  
Fig.2 The nonlinear relation between the relevant variables and psychological comfort value relation model

### 3 结果

#### 3.1 参数对比

训练调试完成的模型参数对比见表 1, 其中  $MSE$  表示该神经网络模型的均方误差,  $MSE$  越小说明神经网络对训练样本具有较高的拟合能力。 $AVR$  表示样本平均相对变动值, 用来衡量模型拟合程度和预测能力,  $AVR$  越小, 表明拟合程度越高或预测能力越强。 $AVR$  计算见式 (2)。与 BP 预测模型相比, PCA-BP 预测模型平均相对变动值为 0.164, 说明该模型预测性能高, PCA-BP/BP 模型预测结果对比见图 3。

表 1 训练后模型的主要参数

Tab.1 The main parameters of the model after training

	迭代次数	隐含层神经元数	$MSE$	$AVR$
BP	3110	10	0.048	0.164
PCA-BP	1950	8	0.012	0.324

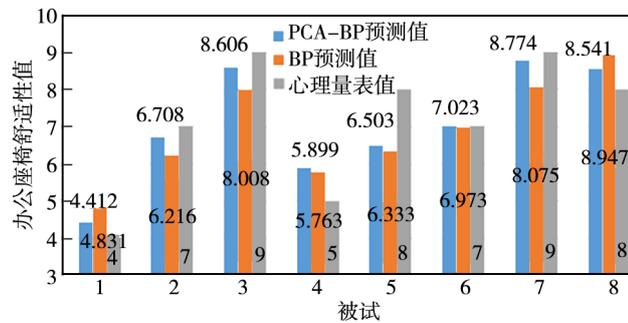


图 3 PCA-BP/BP 模型预测结果对比

Fig.3 Predicted results contrast between PCA - BP and BP model

$$AVR = \frac{\sum_{i=1}^N [x(i) - \hat{x}(i)]^2}{\sum_{i=1}^N [x(i) - \bar{x}]^2} \quad (2)$$

表 2 PCA-BP/BP 预测值和主观值的配对样本  $t$  检验

Tab.2 The paired sample  $t$  test between predictive and subjective values

	均值	标准差	下限	上限	t	df	p	r	p
PCA-BP vs 心理值	0.068	0.728	-0.540	0.677	0.265	7	0.798	0.918	0.001
BP vs 心理值	0.231	0.998	-0.603	1.066	0.657	7	0.532	0.837	0.009

注:  $t$  表示配对样本的  $t$  统计量,  $p$  表示显著性水平。

### 4 结语

压力数据可以反应用户在人机交互过程中的舒适性<sup>[13-14]</sup>, 本文建立了研究框架, 验证了基于 PCA-BP 神经网络的办公座椅舒适性评估模型的有效性和可行性。下一步, 将把 PCA-BP 模型应用到车辆和轨道交通座椅舒适性评价<sup>[10-12,15]</sup>和眼动测试<sup>[16]</sup>等相关用户体验测试领域, 以数据驱动产品创新设计<sup>[17]</sup>, 为用户体验设计提供有效数据支撑。

式中:  $N$  为预测样本数据数,  $x(i)$  为第  $i$  组数据心理值,  $\bar{x}$  为心理值的平均值,  $\hat{x}(i)$  为第  $i$  组数据的模型输出值。

#### 3.2 误差对比

BP/PCA-BP 模型预测误差对比见图 4, 误差代表预测值与心理舒适值的绝对误差, PCA-BP 的预测误差显著下降。

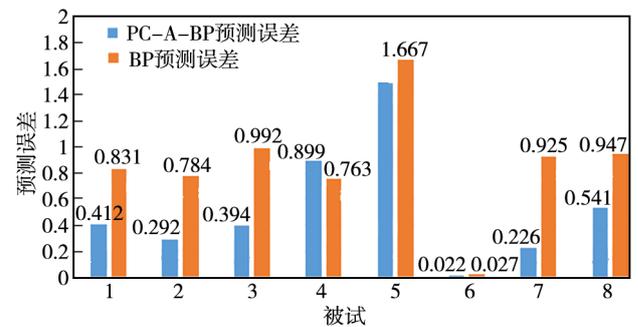


图 4 PCA-BP/BP 模型预测误差对比

Fig.4 Predicted error contrast between PCA - BP and BP model

#### 3.3 配对样本 $T$ 检验对比

由图 3 和图 4 可知, PCA-BP 模型第 5 组的主观值与预测值的差异为异值, 而其他被试差异值均在 0.899 之内, 故需进行配对样本  $t$  检验。其中 PCA-BP/BP 模型的均值差接受域分别为  $[-0.540, 0.677]$  和  $[-0.603, 1.066]$ , 显著性水平为 0.05。假设检验  $P$  值分别为 0.798 和 0.532, 此外相关系数  $r$  分别为 0.906 和 0.837,  $P$  值分别为 0.001 和 0.009, 远小于 0.05, 则认为两个变量有很强的线性相关关系, 说明接受两样本均值之间无显著差异的原假设, 且 PCA-BP 预测值在各项统计量上要优于 BP 预测值。

#### 参考文献:

- [1] REINECKE S M. A Continuous Passive Lumbar Motion Device to Relieve Back Pain in Prolonged Sitting[M]. London: Taylor and Francis E-library, 2002.
- [2] HOLTERMANN A. Prognostic Factors for Longterm Sickness Absence Among Employees with Neck Shoulder and Low-back Pain[J]. Scandinavian Journal of Work Environment & Health, 2010, 36: 34—41.
- [3] DELOOZE M P. Sitting Comfort and Discomfort and

- the Relationships with Objective Measures[J]. *Ergonomics*, 2003(6): 985—997.
- [4] SHACKEL B. The Assessment of Chair Comfort[J]. *Ergonomics*, 1969 (2): 269—306.
- [5] ROLAND Z. Are Pressure Measurements Effective in the Assessment of Office Chair Comfort/Discomfort[J]. *Applied Ergonomics*, 2015(8): 273—282.
- [6] BAUMGARTNER D. The Spinal Curvature of Three Different Sitting Positions Analysed in an Open MRI Scanner[J]. *The Scientific World Journal*, 2012(18): 4016.
- [7] 唐立华, 杨元. 不同坐姿对靠背椅人体舒适性的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2013(6): 150—154.  
TANG Li-hua, YANG Yuan. The Influence of Different Sitting on the Chair Body Comfort[J]. *Journal of Central South Forestry University of Science and Technology*, 2013(6): 150—154.
- [8] 陈玉霞. 沙发座面高度对人体坐姿舒适性的影响[J]. *南京林业大学学报*, 2010(1): 104—108.  
CHEN Yu-xia. Sofa Seat Surface Height on the Influence of the Human Body Posture Comfort[J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2010(1): 104—108.
- [9] 史峰. MATAB 神经网络 30 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.  
SHI Feng. 30 Cases MATAB Neural Network Analysis[M]. Beijing: Beijing Aeronautics and Astronautics Press, 2010.
- [10] 李培松. 运用模糊神经网络的汽车座椅舒适性评价[J]. *工业工程*, 2010, 13(1): 97—100.  
LI Pei-song. The Car Seat Comfort of the Fuzzy Neural Network Evaluation[J]. *Journal of Industrial Engineering*, 2010, 13(1): 97—100.
- [11] 马佳. 基于人工神经网络的汽车座椅舒适度评价模型[J]. *工业工程*, 2008(5): 106—109.
- MA Jia. Evaluation of Automobile Seat Comfort Based on Artificial Neural Networks[J]. *Journal of Industrial Engineering*, 2008(5): 106—109.
- [12] 孙守迁. 一种基于支持向量回归的驾驶座椅舒适度评价方法[J]. *中国机械工程*, 2008(11): 1326—1330.  
SUN Shou-qian. An Evaluation Method of Driving Seat Comfort Based on Support Vector Regression[J]. *Chinese Mechanical Engineering*, 2008(11): 1326—1330.
- [13] MARKUS K. Validity and Reliability of Pressure-measurement Insoles for Vertical Ground Reaction Force Assessment in Field Situations[J]. *Applied Ergonomics*, 2016(53): 44—51.
- [14] PATRICK D W. How Reliable Are Pressure Measurements with Tekscan Sensors on the Body Surface of Human Subjects Wearing Load Carriage Systems[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2015 (49): 60—67.
- [15] 曹志伟, 李娟. 轨道车辆座椅舒适度评价方法及研究展望[J]. *包装工程*, 2017, 38(1): 21—25.  
CAO Zhi-wei, LI Juan. Evaluation Methods and Research Prospects for Rail Vehicle Seating Comfort [J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(1): 21—25.
- [16] FU G. Can Eye-tracking Data be Measured to Assess Product Design[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2016(53): 229—235.
- [17] 余从刚, 赵江洪. 数据驱动的两产品模式[J]. *包装工程*, 2016, 37(4): 112—115.  
YU Cong-gang, ZHAO Jiang-hong. Two Product Design Patterns Based Data Driven[J]. *Packaging Engineering*, 2016, 37(4): 112—115.