

基于神经网络的驾驶座椅舒适度评价方法

余江鸿^{1, 2}, 赵志友³, 吴群⁴

(1. 国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073; 2. 湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412008;
3. 联诚集团品质管理部, 湖南 株洲 412001; 4. 浙江大学 现代工业设计研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要: 提出一种基于神经网络的预测驾驶座椅主观舒适度的方法。预测的输入变量为12个体压分布变量以及2个人体变量, 输出变量为整体舒适度指数。数据通过12个被试者对5辆不同汽车的驾驶座椅测试获得。在对数据预测时, 对主观舒适度的预测实验结果达到了均方误差0.003 0以及相关系数0.749的效果。研究的成果将有助于降低当前汽车制造企业提高汽车座椅舒适性过程中的成本, 并缩短制造时间。

关键词: 驾驶座椅; 静态舒适度; 体压分布; 神经网络

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2007)05-0033-03

Evaluation Method of Driving Seat Comfort Based on Neural Network

Yu Jianghong^{1,2}, Zhao Zhiyou³, Wu Qun⁴

(1. College of Mechatronics Engineering and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
2. College of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China;
3. Quality Control Department of Zhuzhou Lince Group Co.Ltd, Zhuzhou Hunan 412001, China;
4. Modern Industry Design Research Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: An evaluation method based on neural network is put forward for the purpose of predicting subjective perceptions of automobile comfort seat. The inputs includes 12 seat interface pressure measures and two anthropometrics. The output is an overall comfort index derived from a survey. The SVR is developed and validated by using data collected from 12 subjects, and the subjects is evaluated by five different driving seats. The prediction results reach 0.0030 in mean square error and 0.749 in linear correlation coefficient, it gives better results than that with artificial neural network. The resulting knowledge can reduce the cost and time associated with the current automobile seat comfort development process.

Key words: driving seat; comfort; body pressure distribution; neural network

当前, 汽车制造企业在座椅设计时, 往往凭主观调查来获取使用者对座椅舒适度的判断^[1,2], 但这种方法时间消耗过多、成本耗费过大且容易出错。为弥补主观评价方法的不足, 大量研究期望利用客观评价的方法预测使用者对座椅主观舒适度的感知。其中体压分布与座椅设计的相关参数如几何尺寸、坐垫和靠背的形状、材料软硬度等密切相关, 同时与不舒适的主观评价之间存在显著的相关性, 因而通过压力分布预测主观舒适度已成为业界研究的热点^[3,4]。部分研究利用多元回归的方法建立了主观评价与体压分布之间的数学模型^[5], 但由于数据处理或指标选择问题^[6], 上述模型的预测效果并不好。部分体压分布指标与主观感

受之间并非单纯的线性关系, 因此, 研究者在研究中提出利用神经网络建立相关的数学模型^[6]。本文通过分析表征座椅体压的物理量, 确定了预测模型的评价指标, 并利用人工神经网络中的基于误差反向传播算法(BP算法)建立了驾驶座椅舒适度评价方法, 取得了不错的预测效果。

1 数据获取

1.1 评价指标的选择

座椅界面压力与座椅舒适度并非简单、单一的关系, 要更好地预测汽车座椅原型的人机特性, 应该综

收稿日期: 2007-08-20

作者简介: 余江鸿(1978-), 男, 安徽宿松人, 湖南工业大学讲师, 国防科技大学硕士生, 主要研究方向为CAD/CAM。

合考虑体压分布、人体测量学、驾驶姿势等因素。在研究中输入变量,包括2个人体测量学变量和12个压力变量。人体测量学变量指性别及身高体重比,12个压力变量分别为:坐垫接触面积、坐垫压力峰值、坐垫平均载荷、坐垫整体载荷、坐垫不对称系数、坐垫最大压力梯度、靠垫接触面积、靠垫压力峰值、靠垫平均载荷、靠垫整体载荷、靠垫不对称系数和靠垫最大压力梯度。

压力变量的选择指标及定义如下:作为表征座椅体压的物理量,首先必须要有明确的物理意义,其次要能很好地联结体压分布测试结果和主观舒适性,使主客观评价的结价一致或存在较好的相关性。指标的确立过程,实际上是对试验数据进行数学处理的过程,体压分布的数学处理结果最终通过一系列量化的指标体现出来,它们应当分别从不同的角度体现座椅的特性,尤其应体现那些与乘坐舒适性关系密切的几何物理参数的影响,如坐垫的形状、坐垫的刚度以及刚度的分布等^[7]。各压力指标定义如下:

1) 座椅压力峰值(P_m),即全部压力测点中的最大值,且 $P_m = \max(P_1, P_2, \dots, P_N)$ 。

式(1)中, N 为测点数。从座椅物理特性角度看,体现了坐垫和靠垫的刚度。较硬的坐垫和靠垫 P_m 较大,反之则较小。

2) 平均载荷(P_v),即全部受压点压力的算术平均值,即: $P_v = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} P_i$ 。

式(2)中, N_p 为受压点数,显然有 $N_p \leq N$ 。对平均压力最直接的影响还是坐垫的刚度,但是即使同一材质的座椅,由于表面形状的差异,使得受压点数不同,也会产生较大的影响。

3) 整体载荷(P_s),全部受压点压力的算术累和值,即: $P_s = \sum_{i=1}^{N_p} P_i$ 。

4) 不对称系数(C_u),人的坐姿是决定体压分布的关键性因素之一,坐姿的不同会造成体压分布较大的差异。为了表征这一因素的影响,引入不对称系数指标,用以判定体压分布的不对称程度,它是左右对称测点压力差的绝对值之和与总压力的比值,即

$$C_u = \frac{\sum_{i=1}^{N/2} |P_{iL} - P_{iR}| \cdot \Delta S}{\sum_{i=1}^{N/2} |P_{iL} + P_{iR}| \cdot \Delta S} \quad (4)$$

式(4)中, N 为测点数, P_{iL} , P_{iR} 为第 i 对左右对称测点压力值, ΔS 为单点压力传感作用的面积。 C_u 越大,压力分布越不对称,坐垫、靠垫本身的形状以及材质分布也会对不对称系数产生很大的影响。

5) 最大压力梯度(G_m),压力梯度是压力沿某一方向的变化率,最大压力梯度为:

$$G_m = \frac{P_{\max} - P_{\min}(C_1, C_2, \dots, C_9)}{l} \quad (5)$$

根据梯度的定义:函数在某点的梯度是这样一个向量,它的方向与取得最大方向导数的方向一致,而它的模为方向导数的最大值。 l 的取值根据最大压力位置与临近的最小测点压力位置的距离取 d_1 或 d_2 ,如图1所示。最大压力梯度体现了坐垫的刚度和材质分布。

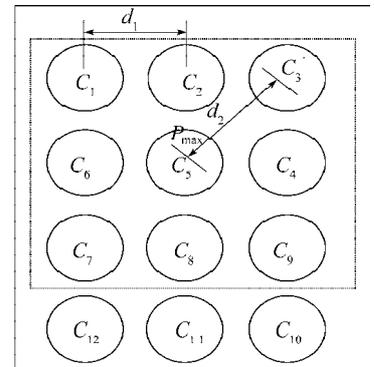


图1 最大压力梯度

Fig. 1 The maximum of pressure gradient

1.2 数据获取与预处理

数据的获取通过现场实验获得,通过在5辆不同品牌、不同档次的汽车实际驾驶过程中获取驾驶座椅压力数据及对应的主观评价数据。实验被试者共12名,其中男性7名,女性5名,平均年龄(29.3 ± 1.5)岁,被试者身体健康状况良好,无脊椎病史。每个被试者独立进行实验,以减少被试者之间造成的干扰。其基本步骤如下:

1) 实验前向被试者大致介绍实验目的、方法及各种实验要求,以及实验中所涉及到的名词及座椅对应的位置,使被试者大致了解实验情况,减少对实验过程不明白带来的实验误差。纪录被试者性别、年龄等个人信息,并测量他们的体重、身高。

2) 被试者上车后,调整座椅位置至自己感觉最舒适的位置,保持正常驾驶姿势30s,然后根据主观意见量表和人体示意图,根据自己的主观感觉意象打分。

为保证数据的可靠性和有效性,我们使用李克特量表(Likert scale)以获取被试者对座椅舒适度的评价数据。在测试过程中,人体被分为多个部分,让被试者将身体各部分的感觉记录到李克特量表上,将所有评价指标舒适度与评价标准绝对值相加,从而得到被试者对座椅的整体舒适度。

3) 在座椅上铺好压力垫后,被试者保持正常驾驶姿势,开始获取其压力数据。数据采集时间约60s。整个过程要避免被试者看到数据信息,以免对其产生心理影响。压力分布原始数据通过压力分布测试及分析系统XSensor获取。

4) 在获取原始数据后,作为预测模型输出的座椅主观舒适程度用整体舒适性指数 F 描述:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n |I_i - I'_i|}{\sum_{i=1}^n |I_{\min} - I'_i|} \quad (6)$$

式(6)中, I_i 为被试对各部分的主观舒适度评价数据; I'_i 为对应的评价标准值, 根据主观舒适度评价表, 各评价标准值均预设为零; I_{\min} 为评价表中的最小值。在输入参数压力数据处理过程中, 为减少随机误差, 在信号稳定后取连续的5帧数据, 利用 matlab7.0 分别计算各帧数据的压力指标值, 然后进行平均获得压力输入数据。

2 基于神经网络的舒适度评价模型

为了确定网络结构, 我们在 MATLAB 神经网络工具箱中输入 14 个指标变量值和相应的目标值, 可得如下 BP 网络结构: 输入层含有 14 个结点, 隐层含有 16 个结点, 输出层含有 1 个结点, 由此可得到基于 BP 算法的静态舒适度评价模型如下:

$$y = g \left(\sum_{j=1}^{16} v_j g \left(\sum_{i=1}^{14} w_{ji} x_i + b_j \right) + b \right), \quad (7)$$

模型(7)可用向量表示为:

$$Y = g \left(Vg \left(W^T X + B_1 \right) + B_2 \right). \quad (8)$$

式(8)中, $X = (x_1, x_2, \dots, x_{14})^T$ 是输入向量, Y 是输出向量, $W = (w_{ij})_{16 \times 14}$ ($i = 1, 2, \dots, 14; j = 1, 2, \dots, 16$) 是输入层和隐层之间的连接权, $V = (v_1, v_2, \dots, v_{16})^T$ 是隐层和输出层之间的连接权, $B_1 = (b_1^{(1)}, b_2^{(2)}, \dots, b_{16}^{(1)})^T$ 和 $B_2 = (b)$ 分别是隐层和输出层的偏置权向量, 隐层结点的传递函数及网络输出函数 $g(h)$ 均采用 logistic 函数,

$$\text{即: } g(h) = \frac{1}{1 + \exp(-h)}. \quad (9)$$

在 60 组数据中随机抽取 45 组数据作为神经网络训练样本, 将剩下的 15 组数据作为测试样本, 在训练过程中, 我们设定误差指标值为 $e = 0.1$, 取学习率 $\eta = 2.0$ 。为评价回归学习的质量, 本文计算了均方误差 δ_{MSE} (mean square error) 以及线形相关系数 R (linear correlation coefficients)。其预测结果见表 1。

表 1 BP 神经网络预测结果

Table 1 Prediction results for BP neural network

样本编号	实际值	BP 神经网络预测值	样本编号	实际值	BP 神经网络预测值
1	0.481	0.401	10	0.296	0.376
2	0.351	0.378	11	0.370	0.378
3	0.370	0.378	12	0.444	0.378
4	0.370	0.368	13	0.277	0.358
5	0.296	0.376	14	0.388	0.378
6	0.500	0.419	15	0.278	0.358
7	0.370	0.378			
8	0.407	0.378	均方差		0.003 0
9	0.370	0.378	相关系数		0.749

试验结果证明了利用神经网络进行舒适度预测的有效性和可靠性。

3 结语

本文利用神经网络的方法, 通过体压分布参数有效地预测了驾驶座椅的主观舒适度, 证明了合理可靠的舒适度客观评价方法是可行的。而由于驾驶作业的特殊性, 要很好地评价或比较不同座椅的舒适程度, 必须综合考虑静态和动态驾驶状况。在未来的研究中, 我们将在本研究基础上, 综合考虑振动及驾驶时间对驾驶座椅舒适度的影响, 并通过选择新的动态体压分布变量, 分析这些压力参数与动态主观舒适性的联系, 从而能够建立驾驶座椅舒适度的动态模型。

本研究成果将为汽车座椅的工业设计提供人机工程方面的评价方法, 有助于降低当前汽车制造企业提高汽车座椅舒适性过程中的成本, 缩短制造时间。

参考文献:

- [1] Annett J. Subjective rating scales in ergonomics-A reply[J]. Ergonomics, 2002, 45: 1042-1046.
- [2] Manenica I, Corlett E N. Model of vehicle comfort and a model for its assessment[J]. Ergonomics, 1973, 11 (6) : 849-854.
- [3] Verver M, Hoof J. A Seat Sensitivity Study on Vertical Vibrations and Seat Pressure Distributions Using Numerical Models[J]. SAE, 2004 (1) : 2142.
- [4] Ivo Hostensa, George Papaioannoub, Arthur Spaepen, et al. Buttock and back pressure distribution tests on seats of mobile agricultural machinery[J]. Applied Ergonomics, 2001, 32: 347-355.
- [5] Koyano M, Kimishima T, Nakayama K. Quantification of static seating comfort of motorcycle seats[J]. JSAE Review, 2003, 24: 99-104.
- [6] Kolich M. Predicting automobile seat comfort using a neural network[J]. Industrial Ergonomics, 2004, 33: 285-293.
- [7] Kolich M, Seal N, Taboun S. Automobile seat comfort prediction: statistical model vs. artificial neural network[J]. Applied Ergonomics, 2004, 35: 275-284.
- [8] Diane E, Gyi J. Mark Porter, Interface pressure and the prediction of car seat discomfort[J]. Applied Ergonomics, 1999, 30: 99-107.
- [9] 徐明, 夏群生. 体压分布的指标[J]. 中国机械工程, 1997, 8 (1) : 65-67.
- [10] Douglas A Hobson. Comparative effects of posture on pressure and shear at the body-seat interface[J]. Journal of Rehabilitation Research and Development, 1992, 29 (4) : 21-31.