

基于多项眼动数据的拖拉机造型设计评选模型

钟奇¹, 裴学胜¹, 郭钢², 许娜²

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

摘要: **目的** 提出了一种基于多项眼动数据的拖拉机造型设计的评选模型。**方法** 使用 Eye-link 眼动仪采集了 30 名被试在对 4 款不同的拖拉机设计效果图的评价过程中的眼动数据, 在眼动数据与主观评价值的多重共线性检验的基础上, 分析 BP 神经网络, 并建立了拖拉机造型设计的评估模型。**结论** 模型均方误差 MSE=0.040, 平均相对波动 AVR=0.188, 预测值和主观值的配对样本 t 检验 P 值远大于 0.05。使用目标用户在体验过程中的眼动数据来评估拖拉机的造型设计, 为拖拉机的造型设计评估提供了新的思路和方法。

关键词: 用户体验; 眼动追踪; 拖拉机造型; 评选模型; 主成分分析; 人工神经网络

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)08-0166-04

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.08.033

The Selection Model of Tractor Appearance Design Based on Multiple Eye Movement Data

ZHONG Qi¹, PEI Xue-sheng¹, GUO Gang², XU Na²

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

2.Chongqing University, Chongqing 400044, China)

ABSTRACT: A selection model is proposed based on multiple eye movement data. The red desktop eye track is applied to collect the data of 30 object users during the evaluation of 4 different tractors appearance design. Based on the correlation analysis between the subjective evaluation and eye movement data, using principal component analysis(PCA) and BP neural network establishes user experience evaluation model of tractor appearance design combined with mental and physical index. The MSE=0.040,AVR=0.188,the paired sample t test between predictive and subjective values($p>0.05$). Eye movement data during experience is used to evaluate the tractor appearance design, which provides new thinking and method for evaluation of tractor appearance design.

KEY WORDS: user experience; eye tracking; the tractor appearance; selection model; principal component analysis; artificial neural network

随着国内外拖拉机市场的不断扩大以及技术的日渐成熟,设计成为企业制胜的重要手段,针对拖拉机外观造型设计的决策评估及可视化技术理应得到高度重视。如今,体验经济的时代已经到来,国内对于拖拉机造型设计的研究主要还集中于功能优化上,部分学者已经将用户疲劳测试考虑在内^[1],但在产品的用户视觉体验测试上还有所欠缺。

1 研究基础

在产品的可用性测试中,用户满意度一直是研究的重点^[2]。国内外的许多学者通过研究得出了产品属性和用户情感的匹配模型,例如 Han 等提出产品的某些属性将导致用户的情感反馈,并以三星手机为研究

收稿日期: 2017-12-15

基金项目: 河南省软科学研究计划项目(182400410309); 国家自然科学基金资助项目(51375510)

作者简介: 钟奇(1993—),男,江苏人,河南科技大学硕士生,主攻用户体验设计、测试及分析以及可用性工程。

通信作者: 裴学胜(1969—),男,河南人,博士生,河南科技大学副教授,主要研究方向为工业设计理论与方法等。

对象验证了上述猜想，这为后来用户情感反馈模型的发展奠定了基础^[3]。Nagamachi 曾尝试将用户情感映射成产品属性，在此基础上提出了著名的感性工学理论，但产品属性和情感属性之间的映射关系建立在李克特量表之上，主观性较强^[4]。在产品造型设计的评价中，Jose 等运用遗传算法和神经网络对产品造型做了单个用户的情感反馈模型，但缺少客观的统计分析，在某种程度上限制了课题的研究意义^[5]。在探索用户对产品属性的认知时，访谈、焦点小组、问卷调查等传统调查方法均有局限性，这些形式都取决于用户的意愿与描述能力。在产品造型方案的评选过程中，大概经历了 3 个过程，分别是信息筛选、信息预处理、认知与判断^[5]。整个认知过程是一个集生理和心理反应的动态过程，如果最后的眼动数据与感性评价值的拟合程度较高，就能用它来预测用户的情感反馈。

如今，越来越多的研究人员将眼动数据运用到了产品决策中，例如 Ho 等运用眼动技术探索了产品造型对瞳孔大小的影响^[6]；FU 等运用事件的相关电位 ERPs^[7]和眼动测试^[8]研究了脑电、眼动数据和产品视觉造型之间的关系，指出事件的相关电位和眼动追踪技术均能在特定情境中反应用户对产品造型的情感反馈和脑电认知；Orquin 等认为研究人员应从大量集成的眼部活动中探讨用户的决定^[9]；Shimojo 等提出的"cascade and effect"模型认为对产品的偏爱权能够通过分析用户的眼动数据得出^[10]；唐帮备等验证了脑电、眼动和心理数据的关系，但并没有给出具体的预测模型^[12]；李运等运用了偏最小二乘法构建了多项眼动指标和用户打分之间的模型，但偏最小二乘法无法有效表达眼动指标和主观评价值的非线性关系^[11]。

在建立多项眼动数据与心理量表值的拟合模型时，各个眼动指标之间的多重共线性分析是不可避免的问题。在基于传统统计知识的回归预测模型中，

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偏最小二乘回归(PLS)^[12]和逐步回归^[13]。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，在一定程度上能模拟出大脑的认知过程^[14]。本文在总结上述研究方法的基础上，提出了基于多项眼动数据的拖拉机造型设计的评选模型，该评估模型改变了问卷测量、访谈和焦点小组等用户研究的传统方法，可通过眼动数据快速获得用户对拖拉机造型设计的评估方案，有效减少产品的开发周期。同时，运用 PCA-BP 神经网络建立了将眼动数据输出为用户满意度评分的数学模型，并验证了该模型的有效性，可以在一定范围的误差内通过用户的眼动数据预测用户对拖拉机造型设计方案的满意度。

2 实验

2.1 被试介绍

30 个被试的年龄均在 18~30 岁之间，他们均来自中国重庆的本科生、硕士生、博士生、设计师、工程师和用户研究员等。由于眼镜会对眼动识别造成影响，所以被试的视力均正常，不佩戴眼镜，且所有被试均自愿参加本次实验，并支付每个被试 30 元酬金。

2.2 实验装置

实验在一间可用性测试的实验室里进行，房间面积约 15 m²，光照条件稳定。被试坐在指定的位置上对着眼动仪观看展示方案，面部前方有内置摄像头记录被试的眼动数据。BeGaze 软件可自动分析出任意时间每个被试的左、右眼的平均瞳孔直径、持续时间、首次进入时间、注视点个数、结果命中率这 5 项眼动指标值。拖拉机造型设计方案见图 1。



图 1 拖拉机造型设计方案
Fig.1 Design scheme of tractor modeling

2.3 实验步骤

在实验开始前，主试先说明实验过程以及实验操作时的注意事项，让被试签订同意书。被试在主试宣布开始后眼部对焦并观看。操作任务完成后，用户

填写满意度量表，实验结束。

2.4 PCA-BP 神经网络模型构建

实验数据包括眼动数据和李克特量表值。在建立用户满意度评价的模型中，考虑到各项眼动数据之间

的多重共线性和非线性关系,见图1,使用PCA-BP神经网络算法作为关键技术,并导入matlab神经网络工具箱进行训练,所建立的神经网络算法模型见图2。输入矢量矩阵,得出112组眼动数据 $P1, P2, P3...P112$ 作为训练样本,8组眼动数据 $P1, P2, P3...P8$ 作为预测样本,输出心理量表值 T 。根据网络的实际

输出 $A1, A2, A3...A112$ 与目标矢量 $T1, T2, T3...T112$ 之间的误差来修改其权值,当网络在允许的误差范围内且实际输出值接近希望输出值则训练完成。当训练完成后,利用剩余的8组数据作为预测样本,将8组数据对应的模型输出值与李克特量表中该用户的满意度进行对比分析。

表1 眼动数据与心理值多重共线性检验
Tab.1 Multicollinearity test between eye movement data and the psychological value

N=120	持续时间	首次进入时间	注视点个数	结果命中率	左眼平均瞳孔直径	右眼平均瞳孔直径	心理值
持续时间	1	0.910	-0.103	0.496	0.546	0.509	0.479
首次进入时间	0.910	1	-0.030	0.609	0.608	0.581	0.534
注视点个数	-0.103	-0.030	1	0.509	0.386	0.385	0.021
结果命中率	0.496	0.609	0.509	1	0.892	0.856	0.280
左眼平均瞳孔直径	0.546	0.608	0.386	0.892	1	0.948	0.290
右眼平均瞳孔直径	0.509	0.581	0.385	0.856	0.948	1	0.217
心理值	0.479	0.534	0.021	0.280	0.290	0.217	1

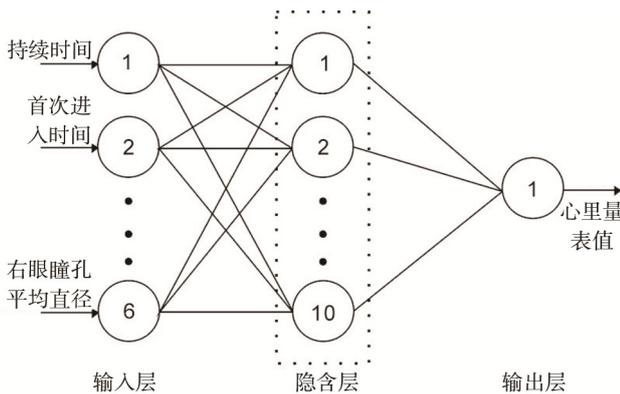


图2 眼动数据和心理量表值关系模型

Fig.2 The nonlinear relation between the relevant variables and psychological comfort value relation model

3 数据分析

3.1 参数分析

迭代次数为2500,隐含层神经元数为11,训练调试完成的最优模型参数见表2。表中表示该神经网络模型的均方误差 A_{MSE} 为0.040,说明该网络对训练数据具有较高的拟合能力,能够应用于模型泛化阶段。

表2 PCA-BP 训练后模型的主要参数

Tab.2 The main parameters of the model after training

	迭代次数	输入层	隐含层神	输出层	MSE
PCA-BP	2500	6	11	1	0.040

3.2 误差分析

B_{Mean} 表示均值, C_{AVR} 表示样本的平均相对变动值, C_{AVR} 越小,表明拟合程度越高或预测能力越强。PCA-BP 模型预测结果误差分析见表3。

3.3 配对样本 t 检验

模型值和心理值之间均值差的接受域为-0.557~0.743,显著性水平 P 值为 0.744,远大于 0.05,说受模型值和心理量表值之间的均值无显著差异,配对样本 t 检验再次验证了该模型的有效性。

3.4 评选结果对比

将这3种方案的数据与另一种方案的数据进行4次交叉验证^[15],模型的输出值和李克特量表值的结果对比见表5,表明基于多项眼动数据的拖拉机造型设计评选模型具有很好的可行性。

表3 PCA-BP 模型预测结果误差分析

Tab.3 The error analysis of PCA-BP

被试	1	2	3	4	5	6	7	8	B_{Mean}	C_{AVR}
心理值	4	7	9	5	8	7	9	8	7.125	
模型值	4.512	6.608	8.506	5.899	6.423	6.991	8.774	8.541	7.033	
误差	0.512	0.392	0.494	0.899	1.577	0.009	0.226	0.541	0.093	0.188

表 4 预测值和主观值的配对样本 *t* 检验
Tab.4 The paired sample *t* test between predictive and subjective values

<i>N</i> =8	均值	标准差	下限	上限	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
预测值 & 心理值	0.093	0.777	-0.557	0.743	0.339	7	0.744

表 5 4 款造型评选结果对比
Tab.5 The evaluation results of 4 product appearance

<i>N</i> =4	模型输出值 (B_{Mean})	李克特量表值 (B_{Mean})
方案 1	7.350	7.100
方案 2	6.725	6.700
方案 3	5.982	6.175
方案 4	6.994	6.875

4 结论

通过用户的眼动数据建立了研究框架,实验结果验证了拖拉机造型设计方案的可用性,实验过程也充分说明了本文所提的方法具有较好的可行性。在今后的研究中,应将脑电和眼动技术结合起来,进一步研究影响用户满意度的认知机制,以数据驱动设计^[16],为工业设计师提供科学的决策评估。

参考文献:

[1] 祝荣欣,王金武,唐汉,等.基于心率变异性的联合收割机驾驶员疲劳分析与评价[J].农业工程学报,2016,32(1):77—83.
ZHU Rong-xin, WANG Jin-wu, TANG Han, et al. Fatigue Analysis and Evaluation of Combine Harvester Driver Based on Heart Rate Variability[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(1): 77—83.

[2] ISO 9241-11-1998. Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals-Part 11: Guidance on Usability[S].

[3] Han S H, Hwan Y M, Kim K, et al. Evaluation of Product Usability: Development and Validation of Usability Dimensions and Design Elements Based on Empirical Models[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2000, 4(26): 477—488.

[4] NAGAMACHI M K. Engineering: A New Ergonomic Consumer Oriented Technology for Product Development[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1995, 1(15): 3—11.

[5] JOSE A M, JORGE A M. Single Users Affective Responses Models for Product Form Design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2016, 5(53): 102—114.

[6] HO C H, LU Y N. Can Pupil Size be Measured to Assess Design Products[J]. International Journal of In-

dustrial Ergonomics. 2014, 3(44): 436—441.

[7] FU G, YI D, WEI L L, et al. Can Eye Tracking Data be Measured to Assess Product Design: Visual Attention Mechanism Should be Considered[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2016(53): 229—235.

[8] FU G, YI D, TIAN B W, et al. Applying Event Related Potentials to Evaluate User Preferences Toward Smartphone Form Design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2016(54): 64—67.

[9] ORQUIN J L, LOOSE S M. Attention and Choice: a Review on Eye Movements in Decision Making[J]. Acta Psychologica, 2013, 144(1): 190—206.

[10] SHIMOJO S, SIMION C, SHIMOJO E, et al. Gaze Bias Both Reflects and Influences Preference[J]. Nat Neurosci, 2003, 6(12): 1317—1322.

[11] 唐帮备,郭钢,王凯,等.联合眼动和脑电的汽车工业设计用户体验评选[J].计算机集成制造系统,2015(6):1449—1459.
TANG Bang-bei, GUO Gang, WANG Kai, et al. Research on Automobile Industry Design User Experience Evaluation and Selection Using Eye Movement and Electroencephalogram[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015(6): 1449—1459.

[12] 李运,郭钢.基于多项眼动数据的产品造型方案评选模型[J].计算机集成制造系统,2016(3):658—665.
LI Yun, GUO Gang. Selection Model of Product Shape Scheme Based on Multiple Eye Movement Date[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016(3): 658—665.

[13] KOLICH M, SEAL N, TABOUN S. Automobile Seat Comfort Prediction: Statistical Model vs Artificial Neural Network[J]. Applied Ergonomics, 2004, 1(35): 275—284.

[14] AKAY D, CHEN X, BARNES C, et al. Anfis Modeling for Predicting Affective Responses to Tactile Textures[J]. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 2012, 22(3): 269—281.

[15] 邱龙金,贺昌政.神经网络稳定性的交叉验证模型[J].计算机工程与应用,2010,46(34):43—45.
QIU Long-jin, HE Chang-zheng. Cross Validation Model for Neural Network Stability. Computer Engineering and Applications[J]. Computer Engineering and Applications, 2016(4): 112—115.

[16] 余从刚,赵江洪.数据驱动的产品设计模式[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(4): 112—115.