

基于眼动追踪的陶瓷产品造型设计评价方法

苏珂^{1,2}, 李德平³, 魏高峰³

(1. 齐鲁工业大学(山东省科学院) 艺术设计学院, 济南 250353;

2. 齐鲁工业大学(山东省科学院) 山东省科学院自动化研究所, 济南 250013;

3. 齐鲁工业大学(山东省科学院) 机械与汽车工程学院, 济南 250353)

摘要: **目的** 为了提高传统陶瓷产品造型设计评价的有效性, 提出一种基于眼动追踪的陶瓷产品造型评价模型。**方法** 为了将用户对陶瓷产品造型的评价量化为数据, 使用 Tobii Glasses 2 眼动仪和其配套软件 Tobii Pro Lab, 收集二十名被试对四件陶瓷产品造型评价活动中的多项眼动指标数据, 并获取被试打分值; 以注视总时间、首次注视持续时间、注视点数目、瞳孔直径等指标数据为输入, 采用 SVM 算法, 建立以眼动数据为输入, 评价值为输出的造型设计评价模型, 并使用测试集数据验证及分析模型。**结论** 基于眼动追踪的评价模型具有合理性, 有利于充分发挥陶瓷造型设计评价环节的重要作用, 为陶瓷产品造型评价提供了新思路。

关键词: 陶瓷产品; 眼动; 产品造型; 造型评价

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)02-0051-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.02.008

Ceramic Product Modeling Design Evaluation Method Based on Eye Tracking

SU Ke^{1,2}, LI De-ping³, WEI Gao-feng³

(1. School of Arts and Design, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250353, China;

2. Institute of Automation of Shandong Academy of Sciences, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250013, China; 3. School of Mechanical and Automotive Engineering, Qilu University of Technology

(Shandong Academy of Sciences), Jinan 250353, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a ceramic product modeling evaluation method based on eye tracking, in order to improve the effectiveness of traditional ceramic product modeling design evaluation. In order to quantify the user's evaluation of ceramic product modeling as data, Tobii glasses 2 eye tracker and its supporting software Tobii Pro lab were used to collect the eye movement index data of twenty subjects in the modeling evaluation activity of four ceramic products and obtain the score of each subject. With total fixation time, first fixation duration, fixation points and pupil size as input, support vector machine (SVM) was used to establish the design evaluation model with eye movement data as input and scoring value as output and the test set data were used to verify and analyze the model. The evaluation model based on eye tracking is reasonable, which is conducive to giving full play to the important role of ceramic modeling design evaluation, and provides a new idea for ceramic product modeling evaluation.

KEY WORDS: ceramic products; eye tracking; product modeling; modeling evaluation

收稿日期: 2020-09-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51405252); 中国博士后科学基金面上资助项目(2020M672101); 山东省博士后创新项目(202002046)

作者简介: 苏珂(1980—), 女, 山东人, 博士, 齐鲁工业大学(山东省科学院)艺术设计学院副教授, 主要研究方向为产品设计认知、产品创新方法等。

通信作者: 李德平(1993—), 女, 山东人, 齐鲁工业大学(山东省科学院)机械与汽车工程学院硕士生, 主攻产品创新设计方法。

随着消费市场的发展,消费者对产品附加的精神文化的需要逐渐加强,而陶瓷产品作为我国传统轻工产品,蕴含着深厚的历史文化气息,具有极高的人文性和实用性^[1]。陶瓷产品的造型是传播精神文化的重要载体^[2],也是陶瓷产品设计中的重要关注点之一^[3]。当前主要由设计师主观主导陶瓷产品的造型设计^[4],产品特征易受到一定的限制,并且缺乏与消费者的沟通^[5],导致与消费者的消费倾向存在偏差难以适应市场发展。在陶瓷产品开发前期,造型评价是一个重要环节,是优化产品造型设计的重要方法^[6],对合理定位消费者的消费心理和促进陶瓷产品行业的发展具有重要意义。

1 研究基础

目前,以主观评价和客观评价为产品造型设计的主流评价体系被予以广泛应用,但这两种评价法均存在一定局限性。主观评价中的层次分析法和德尔菲法需要依靠专家经验与知识获取权重或打分^[7],无法反映目标用户的真实心理感受。而用户打分法由于不同目标用户个体量化心理感受的能力存在差异,所以最终量化数据可靠性较差。客观评价常以考察的生理指标的数据为主,但对生理指标的相关研究还多处在单项指标分析的程度上,模糊粗糙集评价法、主成分分析法等虽然可用于多项指标的综合分析,但是在实际情况中由于数据分析复杂,所以能够反映的指标量较少,存在一定局限性。

人的生理行为能够反映人的心理变化。眼动即作为一种生理行为,可用眼动追踪技术测量眼动生理指标。该技术早期应用于心理学领域,包括阅读、视觉搜索和模式识别^[8]等,后来逐渐扩展应用于与设计相关的领域,包括广告^[9]、界面可用性^[10]、产品造型评价^[11]等。Khalighy 等人^[12]研究了一种量化产品设计美学品质的方法,该方法通过眼动追踪技术分析被试的眼动行为来预测用户的审美偏好,并建立了美学测量系统;Ho C H 等人^[13]运用眼动追踪技术研究了产品造型属性对用户瞳孔直径的影响;卢兆麟等人^[14]通过分析眼动实验中提取的热点图将其量化为数据,并建立了被试对汽车造型的二分类评价模型;朱月等人^[15]运用眼动实验热区域及注视时间对辽瓷的设计基因进行了研究,但只分析了单一眼动指标并未深入探讨多项眼动指标数据;汪柳等人^[16]运用眼动实验对电助力自行车电池盒隐蔽性设计进行了评价,但其仅使用了两项眼动指标数据且未对其进行深入探讨;钟奇等人^[17]以眼动数据为基础,通过分析 BP 神经网络建立了拖拉机设计的评估模型;李运等人^[11]采集了被试的多项眼动数据和主观评分,运用偏最小二乘法建立了产品造型设计的评价模型,但其不能有效表达眼动数据与评价值的非线性关系且误差较大。以往的产

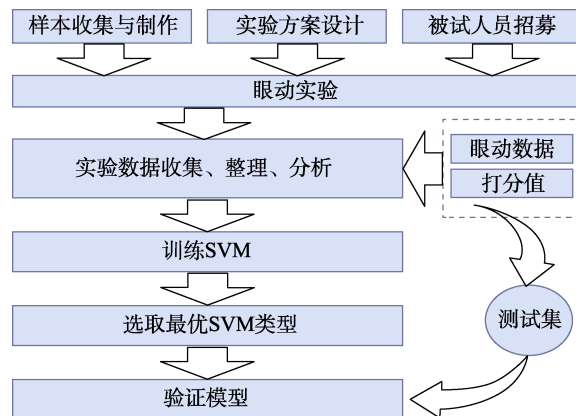


图1 评价模型流程

Fig.1 Evaluation model flow

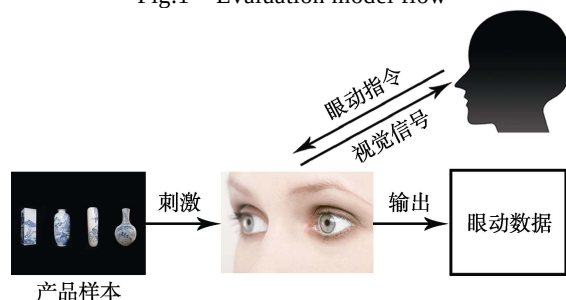


图2 产品造型评价视觉认知活动过程

Fig.2 Visual cognitive process of product modeling evaluation

品造型评价模型大多采用回归模型,该模型计算结果为连续值,而用户打分为整数,属于离散变量,采用回归模型计算评价结果易造成较大误差。

本文提出了基于眼动追踪的陶瓷产品造型设计的评价模型,见图1。该评价模型以眼动追踪实验和用户打分为基础,针对用户打分为0~10的整数为离散变量的特点,采用分类模型计算评价结果,运用支持向量机(Support Vector Machine,简称SVM)算法,建立眼动实验数据与用户打分值之间的映射模型。该模型能有效降低误差,并在一定误差范围内为造型评价提供客观数据支持,提高造型评价的可靠性。

2 眼动追踪技术与视觉认知

人类视觉系统的信息认知处理机制高度复杂,由眼睛、视神经及大脑视觉中枢共同完成。眼动与心理学的相关研究表明,人的视觉系统接收外界刺激后所产生的心理反应会引起相应的眼动生理行为。眼动行为能在一定程度上反映人对刺激事物的感知情况,是人类视觉认知活动的外在表现。

在产品造型评价过程中,当眼睛受到外部图片的刺激时会刺激图的物像信息转换成视觉信号,并由视神经传输到大脑视觉中枢,大脑进行情感化处理后,通过视神经影响眼睛的生理反应,产生相应的眼动生理行为。通过分析眼动数据可以对人的心理认知情况进行研究。产品造型评价视觉认知活动过程见图2。

人的眼睛在受到外界刺激后有三种基本的运动类型,即生理反应:注视、眼跳和追随运动。注视指眼睛的中央凹与目标物体对准一定时间(一般需超过 100 ms),使目标物体被充分加工,并于眼睛的中央凹处形成清晰的像;眼跳指突然变更注视点的行为,以实现快速搜索视野并寻找刺激信息;追随运动主要针对被注视的目标物体与眼球有相对运动的情况,为使目标物体总是能够在眼睛中形成相对清晰的像,眼睛的中央凹所对准的方向会追随目标物移动。眼动追踪技术是研究眼动生理反应的主要方法,可使用眼动仪及相关软件测量收集多项眼动指标数据。常见的眼动指标有注视点数量、注视时间、首次注视持续时间、眼跳次数、注视总时间、瞳孔大小与频率、眨眼时间与频率等^[8]。

假设实验所用样本集合为 $A=\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, 被试者集合为 $C=\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, 多项眼动指标数据集为 $E=\{e_1, e_2, \dots, e_k\}$, 产品造型眼动实验数据矩阵为:

$$F = \begin{bmatrix} f(a_1, c_1, E) & f(a_1, c_2, E) & \cdots & f(a_1, c_n, E) \\ f(a_2, c_1, E) & f(a_2, c_2, E) & \cdots & f(a_2, c_n, E) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(a_m, c_1, E) & f(a_m, c_2, E) & \cdots & f(a_m, c_n, E) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: $f(a_m, c_n, E)$ 为被试者 c_n 对实验样本 a_m 的多项眼动数据。

3 SVM 算法原理

SVM 是在分类问题中应用较多的一种机器学习方法。SVM 的优点及来源如文献[18]中所述,其适用于线性可分和线性不可分样本。SVM 基于结构风险最小化准则发展而来,避免了小样本、高维度及非线性分类问题中难以有效分类的问题,并且可以通过将该问题转化为二次规划问题以避免局部最优解,从而在该类问题中得到了广泛应用。

其基本原理如下,设集合 D 为:

$$D = \{(x_i, y_i) | i = 1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

其中:集合 D 被分为两类, $x_i \in R^d$, $y_i \in \{-1, +1\}$, -1 和 $+1$ 为类别标志; n 为样本个数; d 为输入样本维数。其可有效适用于线性可分的情况,即有超平面 $H: wx + b = 0$ 可使 D 中的数据被区分为两类,其中 w 表示最优分类面的法向量, b 表示分类阈值。通过式(3)可将 SVM 分类问题转化为求解二次凸优化问题。

$$\begin{cases} \min & \Phi(w, \varepsilon) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + c \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \\ \text{s.t.} & y_i(w\phi(x_i) + b) \geq 1 - \varepsilon_i, \\ & \varepsilon_i \geq 0; i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (3)$$

其中: ε_i 为松弛因子,在有少量误差样本的情况下,松弛因子的引入可以使训练正常进行; c 为惩罚

参数。拉格朗日算子可以将上述问题转化为对偶问题,从而求得最优分类函数:

$$f(x) = \text{sgn} \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i y_i K(x_i, x) + b \right) \quad (4)$$

其中: α_i 为拉格朗日算子; $K(x_i, x)$ 为核函数,是一个对称函数,它满足 Mercer 条件,根据嵌入其中核函数的不同可以得到不同种类的 SVM,经过优选后,采用径向基函数(Radial Basis Function, 简称 RBF)使本文所提问题的分类误差最小。通过变换有限样本,映射得到该空间的线性可分样本:

$$K(x_i, x) = \exp \left(\frac{-\|x_i - x\|^2}{\sigma^2} \right) \quad (5)$$

当类别超过两类时,通过一对一或一对多分类器即可将二分类 SVM 扩展得到多分类 SVM。

4 眼动实验

将眼动实验分为以下三步开展:(1)实验前期准备工作,包括收集实验样本并制作实验用样本图片,设计实验和预实验方案,招募被试人员,准备实验场地及调试眼动仪等实验设备;(2)实验实施,要求被试人员在充分了解实验程序后进行实验,并确保实验过程中不被任何外界因素打扰;(3)收集眼动实验数据,使用相关软件导出各个被试的多项眼动指标数据,并整理分析。

4.1 实验设备和环境

实验使用 Tobii Glasses 2 眼动仪实施眼动实验,使用 Tobii Pro Lab 软件进行兴趣区划分及眼动数据收集。实验在眼动测试实验室里进行,房间面积约 10 m²,环境噪音低于 40 分贝,温度在 20 ℃左右,光照条件稳定。由 24 英寸显示器呈现实验样本图并指定相对固定的被试就坐位置。

4.2 实验样本

选取四件同种类不同造型的陶瓷产品作为实验样本,由于去色的灰度图片可能会对被试理解产品造成一定干扰,所以选取纹样相似、颜色相同的四件陶瓷产品。拍摄产品正面视图照片,作为实验样本图。为避免产品放置环境对实验的干扰,将实验样本图统一处理为黑色背景。

为使被试不需要依靠回忆对各个样本进行对比评价,采用四个实验样本同时呈现的方式,以便被试直接对比各个样本,提高实验可靠性。为消除实验样本图展示时的排列布局对实验结果产生的影响,采用拉丁方方法安排样本位置^[17]。实验样本见图 3。

4.3 被试人员

选择二十名被试参与实验,均为设计相关专业的本科生和研究生,年龄在 20~30 岁之间,眼部生理功



图 3 实验样本
Fig.3 Experimental sample



图 4 实验场景
Fig.4 Experimental scene

能完好，且视力或矫正视力正常。所有被试均为实验样本产品的目标用户。

4.4 实验过程

所有被试均单独进行眼动实验，正式实验前先进行预实验，等被试了解实验程序后再进行正式实验，请被试对比观看各个实验样本图，并告知被试实验目的为产品造型评价。实验分为两个部分。

4.4.1 眼动测试

眼动测试分为七步：(1)请被试阅读实验指导语，介绍并等待其充分理解实验目的和步骤后开始实验；(2)被试在指定位置就坐后帮助其正确佩戴眼动仪并完成校准；(3)被试进行预实验。预实验使用的样本图与正式实验样本图没有关联；(4)开始进行正式实验，被试按照预先设置的程序观看样本图；(5)实验结束，保存眼动仪采集的眼动信息；(6)被试摘下眼动仪并起身离开，下一位被试以同样的步骤重复该眼动实验；(7)所有被试完成实验，保存所有实验结果信息并妥善收起眼动仪设备。

4.4.2 评分测试

请被试填写十级李克特量表对各个样本进行评价打分，对样本的评价越高则对应的分值越大。同时对被试进行访谈，询问被试对样本图是否存疑，并简要说明对各个样本的认知情况。实验场景见图 4。

4.5 实验数据收集

实验结束后，使用眼动仪配套分析软件 Tobii Pro Lab 收集眼动数据，使用 AOI 模块中的多边形等工具将实验样本的轮廓划分出来成为兴趣区，获取每个被试在兴趣区内的各项眼动指标数据，将数据导出并保

表 1 眼动指标项及具体含义
Tab.1 Eye movement data items and their specific meanings

序号	眼动指标	含义
1	注视总时间	兴趣区内注视点的总时间
2	首次注视持续时间	落入兴趣区内的首个注视点的持续时间
3	注视点数目	落入兴趣区内的注视点数量
4	瞳孔大小	兴趣区内注视点平均瞳孔直径

存为 Excel 文件。

结合对被试的访谈，整理眼动实验数据，去除可能产生误差的实验数据组，例如因对某一样本存在疑惑因而注视总时间较长的数据组，最终保留十七名被试的眼动数据用于建立评价模型。

5 建立产品造型评价数学模型

5.1 眼动指标选取

选择与造型评价有关的眼动指标数据参与建立 SVM 数学模型。根据现有文献中眼动指标数据与用户打分值的关系分析，预选取四项眼动指标数据作为建模数据。眼动指标项及具体含义见表 1。

运用 SPSS 软件对兴趣区内的各项眼动指标数据与被试打分值进行相关性分析，表 1 中四项眼动指标数据的显著性均小于 0.05，可用于建立 SVM 的数学模型。

5.2 模型建立

SVM 的陶瓷产品造型评价模型的原理，见图 5，其中 χ_n 为被试对某个产品造型的第 n 项眼动指标。

运用 MATLAB 中的 SVM 工具箱以注视总时间、首次注视持续时间、注视点数目、瞳孔直径四项眼动指标数据为模型的输入，以被试的打分值为输出，对数据进行训练，见图 6。

5.2.1 模型数据预处理

将保留的十七位被试的多项眼动数据进行归一化处理。使用 Min-Max 标准化 (Min-Max Normalization) 方法，其转换函数为：

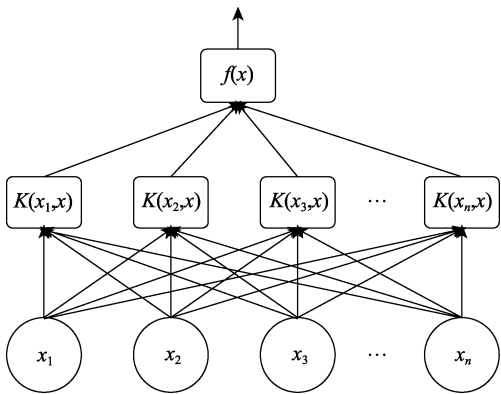


图 5 模型结构
Fig.5 Model structure

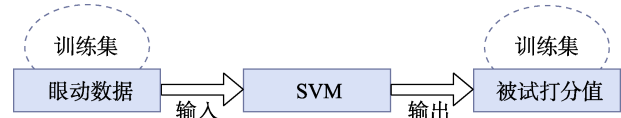


图 6 训练模型
Fig.6 Training model

表 2 六种 SVM 模型准确率
Tab.2 Accuracy of six SVM models

SVM 类型	Linear SVM	Quadratic SVM	Cubic SVM	Fine Gaussian SVM	Medium Gaussian SVM	Coarse Gaussian SVM
准确率/%	93.2	95.6	95.6	89.0	92.1	84.1

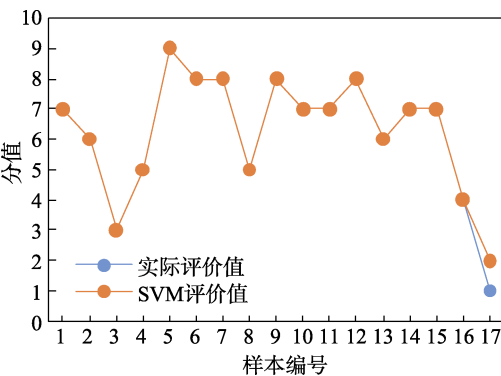


图 7 预测结果与实际值
Fig.7 Forecast results and actual values

$$x^* = \frac{x - \min}{\max - \min} \tag{6}$$

被试打分值为 1~10 之间的整数，不作处理。

将所有眼动数据组分为训练集和测试集，将第二个样本的第二次呈现的十七组数据作为测试集，其他数据作为训练集。

5.2.2 参数的寻优

如式(4)，为了选取精确度更高的机器学习方法并以此建立眼动数据与评价值之间的映射关系，将数据应用于六种不同 SVM 中查看分类准确率，采用精

确度最高的 SVM 构造评价模型，选择训练集数据输入模型进行训练。六种 SVM 模型准确率见表 2。

如表 2，以 RBF 为核函数的 Quadratic SVM 的训练准确率最高，为 95.6%。故选择 Quadratic SVM 建立眼动数据与评价值之间的关系模型。

6 模型验证

将测试集眼动数据输入该数据模型中，得到模型输出的评价值和评价准确率，以此验证机器学习模型的准确率。十七组样本的预测结果与实际打分值，见图 7。

由图 7 可知，除第十五个样本外，其他样本的模型输出值均与实际打分值相同，模型的预测准确率达 94.1%，说明眼动数据与陶瓷产品设计评价值之间有明显的映射关系，并且通过 SVM 建立基于眼动数据的陶瓷产品设计评价模型具有较强的可行性。

7 结语

通过测量用户的眼动追踪数据与用户打分值，使用 SVM 建立了眼动数据与陶瓷产品造型设计评价间的数学模型，并对该模型进行了分析和验证。验证结果表明，该模型可用于判断用户对陶瓷产品造型的评价情况并为造型设计评价提供客观数据支持，有助于在陶瓷产品开发过程中降低成本和缩短周期，为陶瓷产品造型评价方法提供新思路。由于实验条件的限制，所以本文仅用四件同类陶瓷产品图片作为样本进行实验，有一定局限性。除眼动生理指标外，人体还有其他生理指标，如脑电、心电、皮电等，为优化评价方法，对多种生理指标的综合分析值得进一步研究。

参考文献：

[1] 王英, 赵震, 宋伟. 基于 VR 技术的虚拟陶瓷产品设计[J]. 包装工程, 2007, 28(12): 209-211.
WANG Ying, ZHAO Zhen, SONG Wei. Virtual Ceramic Product Design Based on VR Technology[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(12): 209-211.

[2] SU J N, JIANG P Y, LI H Q. Kansei Image-driven Method of Product Styling Design[J]. International Journal of Product Development, 2009, 7(1/2): 113-126.

[3] 林丽, 郭主恩, 阳明庆. 面向产品感性意象的造型优化设计研究现状及趋势[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 77-91.

LIN Li, GUO Zhu-en, YANG Ming-qing. Research Status and Trend of Shape Optimization Design Oriented to Product Perceptual Image[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 77-91.

[4] 杨利华. 基于交互式演化算法的陶瓷产品造型设计[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(3): 274-278.

- YANG Li-hua. Ceramic Product Modeling Design Based on Interactive Evolutionary Algorithm[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(3): 274-278.
- [5] 卜俊, 唐刚, 孙培贤, 等. 基于感性工学的陶瓷茶壶造型设计研究[J]. 中国陶瓷, 2019, 55(2): 67-72.
- BU Jun, TANG Gang, SUN Pei-xian, et al. Modeling Design of Ceramic Teapot Based on Kansei Engineering[J]. China Ceramics, 2019, 55(2): 67-72.
- [6] 邓卫斌, 祝红星. 基于层次分析法的儿童智能手表设计评价研究[J]. 包装工程, 2018, 39(8): 121-125.
- DENG Wei-bin, ZHU Hong-xing. Design Evaluation of Children's Smart Watch Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(8): 121-125.
- [7] 董元发. 需求挖掘, 产品概念生成与用户体验测试方法及关键技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2013.
- DONG Yuan-fa. Requirements Mining, Product Concept Generation and User Experience Testing Methods and Key Technologies[D]. Chongqing: Chongqing University, 2013.
- [8] 闫国利. 眼动研究心理学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- YAN Guo-li. Introduction to Eye Movement Research Psychology[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [9] 程时伟, 蔡红刚, 曹斌. 基于群智感知服务的眼动数据众包计算[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(5): 1103-1112.
- CHENG Shi-wei, CAI Hong-gang, CAO Bin. Crowdsourcing of Eye Movement Data Based on Swarm Intelligence Service[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(5): 1103-1112.
- [10] 王京, 马峻, 吕世霞. 基于眼动追踪技术的 WinCC 界面评价[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(6): 53-57.
- WANG Jing, MA Jun, LYU Shi-xia. WINCC Interface Evaluation Based on Eye Tracking Technology[J]. Experimental Technology and Management, 2019, 36(6): 53-57.
- [11] 李运, 郭刚. 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, 22(3): 658-665.
- LI Yun, GUO Gang. Product Modeling Scheme Selection Model Based on Multiple Eye Movement Data[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(3): 658-665.
- [12] KHALIGHY S, GREEN G, SCHEEPERS C, et al. Quantifying the Qualities of Aesthetics in Product Design Using Eye-tracking Technology[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2015, 49: 31-43.
- [13] HO C H, LU Y N. Can Pupil Size Be Measured to Assess Design Products?[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2014, 44(3): 436-441.
- [14] 卢兆麟, 李升波, 徐少兵, 等. 基于眼动跟踪特征的汽车造型评价方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2015, 55(7): 775-781.
- LU Zhao-lin, LI Sheng-bo, XU Shao-bing, et al. Vehicle Modeling Evaluation Method Based on Eye Tracking Feature[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2015, 55(7): 775-781.
- [15] 朱月, 邓成连. 基于心理与生理测量的辽瓷文化意象基因研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2020, 32(7): 1183-1191.
- ZHU Yue, DENG Cheng-lian. Image Gene of Liao Porcelain Culture Based on Psychological and Physiological Measurement[J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2020, 32(7): 1183-1191.
- [16] 汪柳, 邱越, 褚晓伟, 等. 基于眼动实验的电助力自行车电池盒隐蔽性设计评价[J]. 包装工程, 2020, 41(6): 260-264.
- WANG Liu, QIU Yue, CHU Xiao-wei, et al. Evaluation on Concealment Design of Electric Bicycle Battery Box Based on Eye Movement Experiment[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(6): 260-264.
- [17] 钟奇, 裴学胜, 郭钢, 等. 基于多项眼动数据的拖拉机造型设计评选模型[J]. 包装工程, 2018, 39(8): 166-169.
- ZHONG Qi, PEI Xue-sheng, GUO Gang, et al. Evaluation Model of Tractor Modeling Design Based on Multiple Eye Movement Data[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(8): 166-169.
- [18] 洪翠, 杨华锋, 卢国仪, 等. 基于振动信号 SVM 分类的配变故障识别方法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(6): 1299-1308.
- HONG Cui, YANG Hua-feng, LU Guo-yi, et al. Fault Identification Method of Distribution Transformer Based on SVM Classification of Vibration Signals[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(6): 1299-1308.