

# 基于客观数据的手机—汽车互联产品 用户体验测评方法研究

唐帮备<sup>1,2</sup>, 郭钢<sup>1</sup>, 陈胜男<sup>3</sup>, 陈昊<sup>4</sup>, 曾乐<sup>5</sup>

(1.重庆大学, 重庆 400044; 2.重庆文理学院, 重庆 402160; 3.景德镇陶瓷大学, 景德镇 333403;  
4.重庆师范大学, 重庆 403331; 5.重庆建筑工程职业学院, 重庆 400039)

**摘要:** **目的** 解决手机—汽车互联产品用户体验评价缺少客观定量数据支撑的问题。**方法** 提出一种基于用户客观数据的产品用户体验评价方法。以长安汽车手机—汽车互联产品为测评对象, 招募 20 名产品目标用户, 使用头戴式眼动仪、面部表情分析系统、手指操作轨迹跟踪分析系统和心理量表, 采集用户在完成任务过程中的眼动数据、面部表情数据、手指运动数据以及主观评价值。通过单因素方差分析筛选出与主观评价值相关的客观指标, 建立基于客观数据的用户体验评价的回归方程。**结论** 通过对同类产品的用户体验测评试验对该方法进行验证, 模型的准确率为 0.886, 用户的眼动、表情与手指行为等数据能够客观的反应出产品用户体验的优劣。

**关键词:** 手机—汽车互联产品; 眼动测试; 手指运动追踪; 面部表情分析; 用户体验测试

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)18-0090-10

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.18.019

## Evaluation Method of User Experience towards Phone-vehicle Interconnect Products

TANG Bang-bei<sup>1,2</sup>, GUO Gang<sup>1</sup>, CHEN Sheng-nan<sup>3</sup>, CHEN Hao<sup>4</sup>, ZENG Le<sup>5</sup>

(1.Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2.Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China; 3.Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333403, China; 4.Chongqing Normal University, Chongqing 403331, China; 5.Chongqing construction engineering Career Academy, Chongqing 400039, China)

**ABSTRACT:** It aims to solve the problem of that there is lacking of user objective and quantitative data support for the evaluation of user experience towards phone-vehicle interconnect product. A method of user experience evaluation based on objective data is proposed. The phone-vehicle interconnect product which designed by Changan automobile is used as the evaluation object. 20 target users of the product were recruited. The eye tracker, face reader analysis system, finger motion tracking analysis system and psychological scale are applied to collect the data of users' eye movement, facial expressions, finger behavior and subjective evaluation during the process of completing tasks. Single factor analysis of variance is used to screen out the objective indexes related to subjective evaluation, then, the user experience evaluation model based on objective data is established. The feasibility of the model is verified through a user experience test of phone-car interconnect product, the accuracy of the model is 0.886. The user's eye movement, facial expression and finger behavior data can reaction out the quality of the user experience of phone-car interconnect products objectively.

**KEY WORDS:** phone-vehicle interconnect products; eye movement test; finger movement tracking; facial expression; user experience testing

收稿日期: 2018-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51375510); 中央高校基础业务费项目(106112017CDJXF330013); 重庆市教委科技项目(KJ1740468)

作者简介: 唐帮备(1990—), 男, 重庆人, 重庆文理学院教师, 主要研究方向为产品创新设计及工业设计用户体验测试评价。

随着互联网技术的发展,手机与车载智能系统互联也成为了一种趋势<sup>[1]</sup>。目前国内自主汽车品牌企业的产品在技术上实现了多功能、智能化、系统化的集成,但对用户的使用习惯、人机交互方式的研究却较少,而用户体验直接影响着产品的销售,最终决定产品的成败<sup>[2]</sup>。简洁、愉悦的体验才能得到消费者的认可。

用户体验测试是评价产品优劣的重要途径<sup>[3-4]</sup>。测评方法可分为主观评价和客观评价<sup>[5]</sup>。主观评价注重评价者的主观感受,采用心理量表的方式进行测试,通过模糊粗糙集评价法<sup>[6-7]</sup>、层次分析法<sup>[8]</sup>等模型将用户的心理感受进行量化,时间和资金成本低,但主观性较强;客观评价注重评价者在评价过程中的客观反应,采用仪器测试手段,如脑电测试<sup>[9]</sup>、眼动测试<sup>[10]</sup>、功能核磁共振测试<sup>[11]</sup>,测量用户在使用产品过程中的生理反应,通过客观数据对产品进行定量评价,测试结果可靠性高<sup>[12]</sup>。目前产品测评大多采用专家或领导决策方式。由于专家或领导往往不是产品的最终用户,测评结果不能代表用户的需求。随着技术发展,眼动追踪系统<sup>[13]</sup>、面部表情识别系统<sup>[14]</sup>、手指运动追踪系统<sup>[15]</sup>等人因工程测试技术已在工业设计评价、广告视频测试、APP 原型产品测试等领域进行了应用,但在手机—汽车互联产品用户体验测评领域的应用却较少。笔者首次采用眼动仪、面部表情分析系统、手指操作轨迹跟踪分析系统和心理量表对手机—汽车互联产品进行用户体验测评研究,建立了一种基于客观数据的产品用户体验测评。

本文以手机—汽车互联产品为研究对象,以该类产品用户体验测试为主线,深入研究产品用户体验测评方法,解决该产品用户体验测试缺少用户客观定量数据问题,为提高产品的用户体验提供技术支持。

## 1 手机—汽车互联产品用户感知体验评价过程

用户对产品体验后的感受难以准确描述,根据心理学研究,人类所有认知和体验都是评价性的,当人们在感知体验某一对象时,会在积极/消极的维度上进行评判<sup>[3]</sup>,这种评判会通过人们的生理和心理信号反应出来。传统的评价方法,存在主观性强等缺点,而用户在体验产品时手指运动、面部表情、心理量表等客观数据能够反应出用户的真实感受。用户体验评价过程见图 1。在用户体验产品时,采用面部表情分析系统、手指追踪系统、眼动仪记录体验客观数据,采用心理量表记录体验主观数据。主观数据和客观数据之间存在互相影响和验证关系,通过客观数据与心理反应的关联分析,可判断用户对产品体验的偏好。

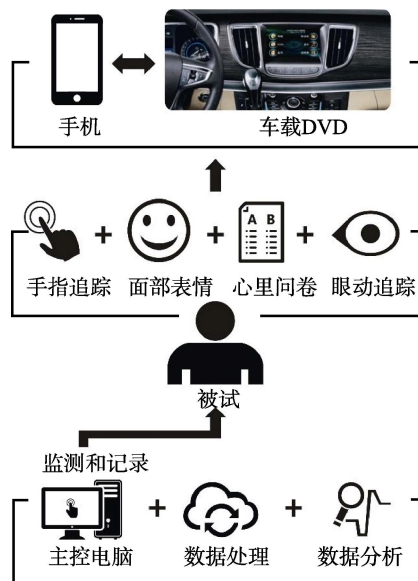


图 1 基于客观数据的产品用户体验测试评价过程  
Fig.1 Evaluation process of product user experience based on objective data

## 2 基于客观数据的产品用户体验评价模型

### 2.1 用户生理指标的选择

#### 2.1.1 眼动数据

人类从外界得到的信息中的 80% 来源于视觉。眼动可以反映视觉信息的选择模式,对揭示认知加工心理机制具有重要意义。眼动包括注视时间、注视频率、眼跳次数、瞳孔大小等数据。眼动时间和注视频率越长,从显示界面提取信息越困难;眼跳次数是衡量用户在显示界面搜索量,次数越高,从显示界面搜索到有效的目标信息越困难;注视频率和眼跳次数是认知负荷的一个有效指标,注视频率和眼跳频率越高,说明显示界面带给用户的认知负荷越大;瞳孔大小反映视觉信息注意状态,可揭示不同刺激条件对注意状态的激发。

#### 2.1.2 面部表情数据

面部表情是人内在情绪的外显标志,是反映心理状态最明显的晴雨表,包括微笑次数、愉悦度比例、效价值和积极情绪唤起等数据。微笑次数越多,体验越愉悦;愉悦度占比越大,体验愉悦性越好。效价值是反应用户情绪积极或消极指标,效价值为正,则体验情绪是积极的,效价值为负,体验情绪是消极的;情绪唤醒值反应用户情绪的强度。

#### 2.1.3 手指运动数据

用户操作产品过程的手指运动数据,可作为交互效率评价的依据。手指行为包括任务完成时间、步骤数、手指绝对角速度、手指平均速度、手指移动距离等数据。完成时间越长,操作效率越低;完成步骤数

越多,操作效率越低;完成角速度越大,操作越复杂;完成速度越快,操作效率越高;手指运动距离越短,操作效率越高。

### 2.2 基于客观数据的用户体验评价模型

由于用户体验的感受难以准确描述,而眼动、手指运动、表情等生理数据能够客观的反应用户体验产品时的真实感受。故通过分析眼动、表情、手指运动等客观指标可为产品用户体验评价提供可量化的数据支持。且心理反应和客观反应之间存在互相影响和验证的关系,因此可以通过客观数据去探究产品用户体验的心理感受。

设用户  $n$  对功能  $m$  的主观评价为  $p_{nm}$ , 那么用户  $(1, 2, 3, \dots, n)$  对功能  $(1, 2, \dots, m)$  的评价为:

$$P = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,m} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n,1} & p_{n,2} & \dots & p_{n,m} \end{bmatrix} \quad (1)$$

设眼动数据  $E=(e_1, e_2, \dots, e_r)$ ,  $e_r$  为  $r$  项眼动指标, 用户  $n$  对功能  $m$  体验过程中的眼动数据为  $e_{nm}$ , 则用户  $(1, 2, 3 \dots, n)$  对功能  $(1, 2, \dots, m)$  评价的眼动数据为:

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1m} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{n1} & e_{n2} & \dots & e_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

设表情数据  $Q=(q_1, q_2, \dots, q_k)$ ,  $q_k$  为第  $k$  项表情指标, 用户  $n$  对功能  $m$  体验过程中的表情数据为  $q_{nm}$  则用户  $(1, 2, 3 \dots, n)$  对功能  $(1, 2, \dots, m)$  评价的表情数据为:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

设手指行为数据  $S=(s_1, s_2, \dots, s_h)$ ,  $s_h$  为第  $h$  项手指指标, 用户  $n$  对功能  $m$  体验过程中的手指数据为  $s_{nm}$ , 则用户  $(1, 2, 3 \dots, n)$  对产品功能  $(1, 2, 3, \dots, m)$  评价的手指数据为:

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1m} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

用户在完成不同任务时会得到不同的主观评价, 评价好与评价差的任务用户在眼动、面部表情和手指运动等客观数据会呈现不同的客观规律, 为用户体验评价模型提供了科学依据。

## 3 客观数据与主观评价印证实验

### 3.1 实验

#### 3.1.1 被测对象

以手机与汽车互联产品 CA-link 为对象, 通过蓝牙和汽车连接, 为用户提供了智能导航、实时通讯、娱乐等功能。

#### 3.1.2 被试构成

被试者为 20 名 CA-link 的用户, 由于 CA-Link 主要搭载在 CS35 上, 因此被试者为驾驶 CS35 的目标用户。20 名被试的构成和要求如下: 男女比例为 4:1, 年龄为 23~45 岁, 驾龄为 2 年及以上; 使用 Android 系统的手机, 学历为高中及以上, 家庭月收入为 1 万~2.5 万。样本年龄及学历分布情况见图 2。

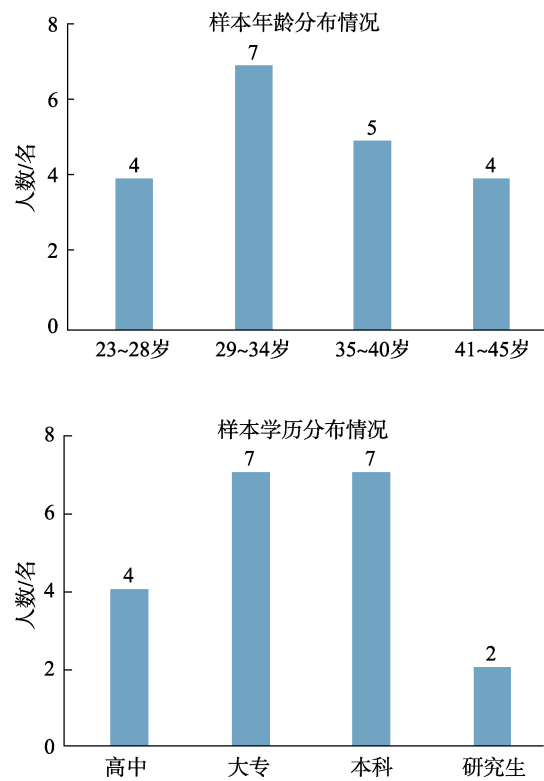


图 2 样本的年龄及学历分布情况  
Fig.2 The age and education distribution of sample

#### 3.1.3 实验任务

将音乐播放、打电话和导航分别本次实验的任务 1、任务 2 和任务 3。

#### 3.1.4 实验设备与环境

采用 Dikablis 头戴式眼动仪采集眼动数据, 采用 FaceReader 面部表情分析采集表情数据, 采用 EthoVisionXT 手指操作轨迹跟踪分析系统采集手指运动数据, 采用心理量表收集主观评价。搭建实验环境见图 3。



图 3 用户体验测试场景  
Fig.3 Test scenarios of user experience

### 3.2 实验数据处理

#### 3.2.1 心理量表测试数据

被试者根据个人喜好通过主观评价问卷给每项任务打分，打分区间为 1~10，分数越高表示用户对该任务的用户体验评价越高。用户对每项任务喜好程度不同，则对应的眼动数据、面部表情和手指运动数据将呈现不同的规律。设被试  $N = \{n_1, n_2, \dots, n_{20}\}$ ，任务  $M = \{m_1, m_2, m_3\}$ ，整理后的被试主观评价数据见表 1，其中 B1 代表被试 1， $M_1$  代表任务 1，其他数据依次类推。

表 1 被试的主观评价数据统计表  
Tab.1 Subjective evaluation data statistics of subjects

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20
$M_1$	8	9	9	9	8	9	8	9	9	9	9	8	9	9	9	9	8	8	9	9
$M_2$	6	7	7	8	6	7	6	8	7	7	6	7	6	7	7	7	6	6	6	7
$M_3$	5	4	5	4	5	5	5	3	4	4	4	3	3	5	4	4	5	4	3	4

#### 3.2.2 眼动数据处理

通过 D-lab 眼动分析软件的 AOI Editor 功能将车载信息操作的屏幕划分为兴趣区，通过 AOI statistic 功能对兴趣区的眼动数据进行计算，统计用户完成每

项任务时的眼动数据：注视次数  $e_1$  [counts]、注视时间  $e_2$  [ms]、眼跳次数  $e_3$  [counts]、瞳孔大小  $e_4$  [mm]。被试的眼动数据如表 2 所示。其中任务 1 的注视次数用  $M_1-e_1$  表示，其他数据依次类推。

表 2 被试的眼动数据统计表  
Tab.2 The eye movement data table of subjects

	$M_1-e_1$	$M_1-e_2$	$M_1-e_3$	$M_1-e_4$	$M_2-e_1$	$M_2-e_2$	$M_2-e_3$	$M_2-e_4$	$M_3-e_1$	$M_3-e_2$	$M_3-e_3$	$M_3-e_4$
B1	11	19.34	11	6.825	19	25.64	14	2.071	24	33.73	23	7.909
B2	10	23.82	9	6.381	15	22.45	15	5.753	21	31.78	21	3.069
B3	11	23.68	12	5.413	18	21.52	15	7.188	21	28.29	17	4.031
B4	13	18.18	13	2.039	19	26.88	13	6.878	23	27.3	21	4.815
B5	13	19.32	11	6.464	19	29.81	17	6.436	21	32.47	17	7.26
B6	12	20	12	2.558	17	21.81	14	4.178	23	30.64	20	6.266
B7	12	25.05	13	4.407	15	21.91	14	5.234	26	28.37	22	3.144
B8	12	24.76	10	2.274	19	27.69	14	4.567	25	29.17	21	6.56
B9	11	23.62	11	4.579	17	29.32	16	3.741	25	35.14	23	3.846
B10	13	23.21	12	4.672	18	21.85	15	4.839	24	31.34	20	2.155
B11	12	22.04	10	4.088	18	25.62	15	4.515	22	32.27	18	2.766
B12	14	25.44	12	5.824	17	24.51	14	5.157	24	28.06	19	4.194
B13	13	22.75	13	3.142	17	24.52	16	4.493	22	34.22	22	2.834
B14	13	19.84	11	5.357	18	28.76	16	6.808	24	34.68	17	4.436
B15	13	18.3	9	2.417	16	27.79	17	5.432	24	31.82	21	4.411
B16	10	17.09	14	7.269	16	28.69	15	3.081	24	27.44	25	4.86
B17	11	22.09	12	7.446	15	27.2	14	6.853	25	28.96	21	6.939
B18	14	24.81	13	6.143	17	21.14	18	3.67	25	35.74	22	6.889
B19	12	23.03	10	2.269	19	22.87	18	2.991	24	28.16	22	6.632

#### 3.2.3 面部表情数据处理

通过 Facereader 面部表情分析软件，选择 East Asian（亚洲人面部表情）数据库对被试完成每项任务的面部数据进行分析，统计被试者的面部表情数据

包括：愉悦度比例  $f_1$  [0-1]、效价值  $f_2$  [-1-1]、微笑次数  $f_3$  [counts]和情绪唤醒值  $f_4$ [0-1]。被试的面部表情数据见表 3，其中任务 1 的愉悦度比例用  $M_1-f_1$  表示，其他数据依次类推。

表3 被试的面部数据统计表  
Tab.3 Eye movement statistical data of subjects

	$M_{1-f_1}$	$M_{1-f_2}$	$M_{1-f_3}$	$M_{1-f_4}$	$M_{2-f_1}$	$M_{2-f_2}$	$M_{2-f_3}$	$M_{2-f_4}$	$M_{3-f_1}$	$M_{3-f_2}$	$M_{3-f_3}$	$M_{3-f_4}$
B1	0.339	0.311	1	0.361	0.337	0.011	0	0.512	0.017	-0.35	2	0.197
B2	0.321	0.359	5	0.982	0.273	0.078	3	0.122	0.023	-0.249	4	0.009
B3	0.575	0.361	2	0.211	0.295	0.199	3	0.178	0.073	-0.336	1	0.206
B4	0.562	0.312	1	0.989	0.216	0.139	2	0.994	0.126	-0.264	4	0.59
B5	0.373	0.331	2	0.714	0.325	0.19	3	0.205	0.068	-0.276	1	0.114
B6	0.511	0.295	2	0.379	0.379	0.161	3	0.929	0.063	-0.329	0	0.146
B7	0.42	0.389	2	0.008	0.239	0.138	1	0.623	0.13	-0.349	2	0.811
B8	0.463	0.226	2	0.78	0.322	0.072	5	0.129	0.129	-0.208	2	0.369
B9	0.513	0.231	2	0.724	0.318	0.011	5	0.959	0.152	-0.253	1	0.914
B10	0.582	0.326	3	0.229	0.268	0.003	3	0.286	0.046	-0.368	5	0.074
B11	0.478	0.226	0	0.241	0.328	0.176	1	0.855	0.188	-0.252	2	0.482
B12	0.336	0.219	4	0.628	0.358	0.004	0	0.827	0.01	-0.322	2	0.2
B13	0.466	0.389	4	0.917	0.275	0.022	2	0.053	0.024	-0.334	3	0.568
B14	0.524	0.388	3	0.878	0.292	0.156	3	0.235	0.104	-0.349	3	0.096
B15	0.435	0.354	1	0.715	0.253	0.174	2	0.162	0.187	-0.291	3	0.494
B16	0.362	0.37	1	0.886	0.265	0.011	4	0.762	0.124	-0.224	0	0.487
B17	0.563	0.208	2	0.341	0.327	0.039	3	0.732	0.033	-0.31	2	0.776
B18	0.581	0.371	4	0.999	0.266	0.115	3	0.334	0.089	-0.323	4	0.502
B19	0.404	0.317	4	0.818	0.311	0.187	5	0.287	0.044	-0.273	1	0.432
B20	0.384	0.343	4	0.799	0.202	0.02	1	0.296	0.106	-0.394	1	0.674

### 3.2.4 手指运动数据处理

通过 Ethosvision XT 手指运动分析软件对被试完成每项任务手指运动数据进行分析, 包括手指运动平均速度  $s_1$  [mm/s]、手指运动距离  $s_2$  [mm]、手指运动

平均角速度  $s_3$  [rad/s]、完成任务的时间  $s_4$  [s]、完成任务的步骤  $s_5$  [steps]。被试的手指运动数据见表 4, 其中任务 1 的手指运动平均速度  $M_{1-s_1}$  表示, 其他数据依次类推。

表4 被试的面部表情数据统计表  
Tab.4 Facial expression statistical data of subjects

	$M_{1-s_1}$	$M_{1-s_2}$	$M_{1-s_3}$	$M_{1-s_4}$	$M_{1-s_5}$	$M_{2-s_1}$	$M_{2-s_2}$	$M_{2-s_3}$	$M_{2-s_4}$	$M_{2-s_5}$	$M_{3-s_1}$	$M_{3-s_2}$	$M_{3-s_3}$	$M_{3-s_4}$	$M_{3-s_5}$
B1	92	1034	477	11	9	74	1305	530	30	15	45	1241	660	54	28
B2	101	999	518	12	10	76	1131	588	15	16	66	1655	608	41	20
B3	100	996	445	16	11	61	1068	527	36	17	71	1543	663	29	17
B4	92	740	514	14	10	70	1263	625	33	14	50	1422	718	43	20
B5	118	824	475	16	8	66	1157	533	16	12	58	1296	615	49	25
B6	94	1098	497	18	10	63	1398	521	25	13	65	1653	696	30	25
B7	81	1027	533	10	8	66	1478	601	26	13	51	1352	646	55	18
B8	116	800	453	11	7	63	1107	534	17	10	62	1488	636	43	29
B9	114	1101	430	7	12	61	1167	564	37	17	43	1215	624	39	20
B10	118	965	486	10	13	64	1395	636	25	13	71	1699	713	38	24
B11	80	1096	498	12	13	65	1386	620	30	11	70	1690	592	31	20
B12	93	900	489	16	10	81	1310	551	26	17	47	1358	649	55	22
B13	88	1116	460	16	10	69	1110	540	22	14	62	1678	672	42	21
B14	117	755	430	14	8	78	1184	606	14	16	68	1320	625	30	19
B15	93	901	459	19	11	79	1449	547	21	17	45	1228	628	36	28
B16	116	1056	424	9	13	70	1305	588	23	17	68	1607	698	23	23
B17	86	795	517	15	12	65	1097	566	29	15	61	1438	650	36	26
B18	105	904	511	16	12	74	1203	557	26	12	71	1231	698	29	18
B19	114	840	470	15	12	66	1468	579	26	16	69	1337	661	40	22
B20	118	771	531	6	14	76	1349	637	23	17	50	1458	666	55	21

### 3.3 用户主观评价与客观生理数据的单因素方差分析

借助 SPSS 软件，以主观评价为影响因素对客观数据进行单因素方差分析，分析前先做方差齐次性检验。令  $e_1$  为注视次数， $e_2$  为注视时间， $e_3$  为眼跳次数， $e_4$  为瞳孔大小， $f_1$  为愉悦度比例， $f_2$  为效价值， $f_3$  为微笑次数， $f_4$  为情绪唤起值， $s_1$  为手指运动平均速度， $s_2$  手指运动距离， $s_3$  为手指角速度， $s_4$  为完成任务的时间， $s_5$  为完成任务的步骤数。分析结果见表 5， $s_1$  和  $s_5$  显著性小于 0.05，对其他显著性大于 0.05 的客观数据进行单因素方差分析。

分析结果见表 6。 $e_1, e_2, e_3, f_1, f_2, s_2, s_3$  与  $s_4$  的显著性小于 0.05。注视次数、注视时间、眼跳次数、为愉悦度比例、效价值、手指运动距离、手指角速度、完成任务的时间等 8 项数据与用户体验主观评价价值相关，可作为评价模型的指标。

表 5 客观数据的方差齐次性检验  
Tab.5 Test of homogeneity of variance between objective data

客观数据	Levene 统计量	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	显著性
$e_1$	0.713	8	51	0.679
$e_2$	1.845	8	51	0.090
$e_3$	2.005	8	51	0.065
$e_4$	1.481	8	51	0.188
$f_1$	0.468	8	51	0.873
$f_2$	2.505	8	51	0.022
$f_3$	0.671	8	51	0.714
$f_4$	1.984	8	51	0.067
$s_1$	6.158	8	51	0.000
$s_2$	1.658	8	51	0.132
$s_3$	1.727	8	51	0.115
$s_4$	1.139	8	51	0.354
$s_5$	3.352	8	51	0.004

表 6 客观数据单因素方差分析  
Tab.6 Single factor variance analysis of objective data

客观数据	df	F	显著性	客观数据	df	F	显著性		
$e_1$	组间	8	7.762	0.003	$f_3$	组间	8		
	组内	51				组内	51	0.485	0.861
	总计	59				总计	59		
$e_2$	组间	8	7.425	0.005	$f_4$	组间	8		
	组内	51				组内	51	1.772	0.105
	总计	59				总计	59		
$e_3$	组间	8	3.855	0.001	$s_2$	组间	8		
	组内	51				组内	51	5.575	0.006
	总计	59				总计	59		
$e_4$	组间	8	1.495	0.183	$s_3$	组间	8		
	组内	51				组内	51	11.70	0.004
	总计	59				总计	59	5	
$f_1$	组间	8	3.472	0.003	$s_4$	组间	8		
	组内	51				组内	51	8.583	0.013
	总计	59				总计	59		
$f_2$	组间	8	15.538	0.010					
	组内	51							
	总计	59							

### 3.3 建立基于偏最小二乘回归的用户体验客观数据评价模型

对筛选出的 8 项客观数据进行相关性分析，得到 8 项指标的相关性分析结果，见表 7。

由相关系数分析结果可知，筛选出的客观数据间存在多重相关性。偏最小二乘回归分析方法<sup>[17-18]</sup>采用成分提取的方法，与传统的主成分分析法不同，PLS 在成分提取过程中，考虑了因变量与自变量间的线性关系，选择了对自变量、因变量解释性最强的综合变量，消除了多重共线性的问题，保证了模型的稳定<sup>[19]</sup>。PLS 综合了线性回归分析、主成分分析

等方法的优点，能有效解决变量存在多重共线性的问题<sup>[20]</sup>。

将选取后的客观数据和主观评价数据导入 SIMA-P 13.0 软件中，将客观数据作为自变量，将主观评分数据作为因变量，进行 PLS 分析，得到回归方程系数，将单因变量偏最小二乘回归中标准化的变量还原成原始变量，整理成回归如下方程：

$$P = 12.0428 - 0.0517e_1 - 0.0436e_2 - 0.0590e_3 + 1.3708f_1 + 0.9371f_2 - 0.0008s_1 - 0.00286s_2 - 0.0167s_3 \quad (5)$$

其中： $P$  为主观评价。

表7 客观数据相关系数  
Tab.7 Correlation coefficient of objective data

	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$f_1$	$f_2$	$s_2$	$s_3$	$s_4$
$e_1$	1	0.650	0.635	-0.572	-0.748	0.552	0.769	0.671
$e_2$	0.650	1	0.622	-0.421	-0.749	0.525	0.679	0.683
$e_3$	0.635	0.622	1	-0.468	-0.732	0.496	0.733	0.592
$f_1$	-0.572	-0.421	-0.468	1	0.578	-0.422	-0.566	-0.478
$f_2$	-0.748	-0.749	-0.732	0.578	1	-0.735	-0.856	-0.828
$s_2$	0.552	0.525	0.496	-0.422	-0.735	1	0.617	0.899
$s_3$	0.769	0.679	0.733	-0.566	-0.856	0.617	1	0.735
$s_4$	0.671	0.683	0.592	-0.478	-0.828	0.899	0.735	1

平均准确率  $r$ ，得到准确率  $r = 0.894$ ，准确性较高。

### 4 模型分析与验证

#### 4.1 模型有效性分析

实际主观评分和评价模型计算分值通过 SIMA-P 13.0 软件绘制折线图，见图 4—图 6。

通过式(6)计算分值  $p_{ij}^*$  对实际评分值  $p_{ij}$  预测的

$$r = \frac{\sum_i^m \sum_j^n \left( 1 - \frac{|p_{ij}^* - p_{ij}|}{p_{ij}} \right)}{mn} \quad (6)$$

其中： $r$ 为模型的准确率； $m$ 为被试总人数； $n$ 为总任务数； $p_{ij}^*$ 为模型计算分值； $p_{ij}$ 为实际评分值。

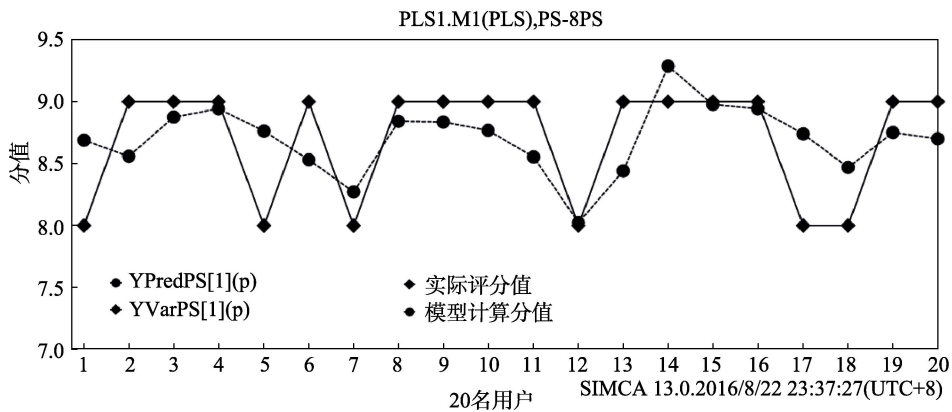


图4 任务1用户体验评价分值折线图

Fig.4 Score line chart of user experience evaluation on task 1

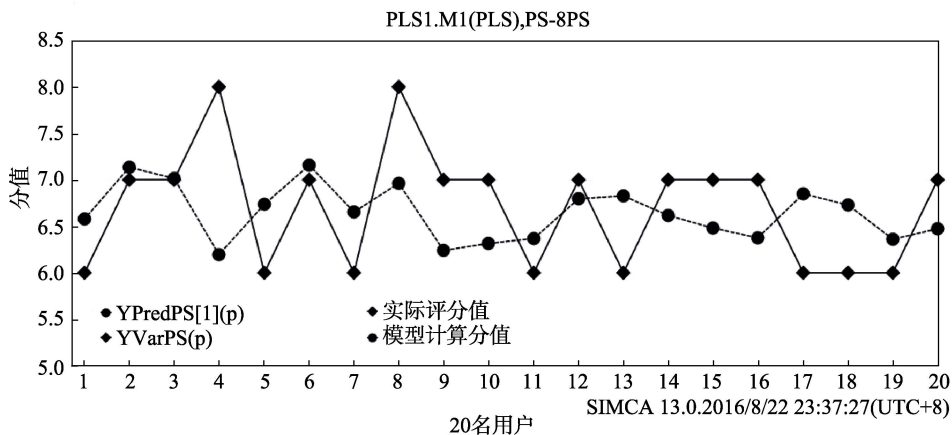


图5 任务2用户体验评价分值折线图

Fig.5 Score line chart of user experience evaluation on task 2

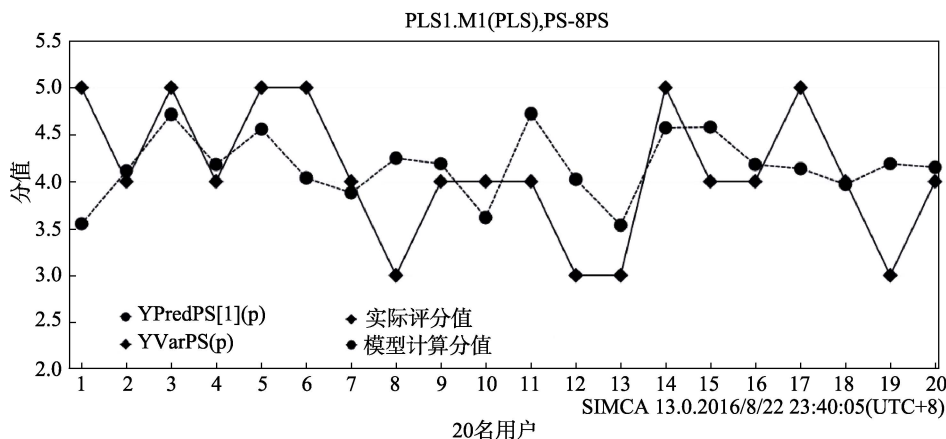


图 6 任务 3 用户体验评价分值折线图  
Fig.6 Score line chart of user experience evaluation on task 3

#### 4.2 手机—汽车互联产品用户体验与用户生理/行为数据关系分析

在手机—汽车互联产品用户体验实验中， $e_1$ ， $e_2$  和  $e_3$  的系数为负，与主观评价呈负相关，说明用户注视界面的注视次数越多，注视时间越长，眼跳次数越多，评价越低。在审美认知眼动实验，注视时间越长，则可能是由于设计存在问题，也可能是因为设计非常吸引人。但在由于本次实验中，给予被试者的任务是执行 APP 的交互任务，被试者通过眼睛来进行信息的搜索，注视次数和注视时长代表了被试者的搜索效率，因此在注视时间越长，评价越低。 $f_1$  和  $f_2$  的系数为正，与主观评价呈正相关，用户面部表情愉悦度比例越高，效价值越大，评价越高； $s_1$ ， $s_2$  和  $s_3$ ，与主观评价呈负相关，运动距离越长，平均角速度越高，任务完成时间越长，评价越低。为分析各项客观数据

在解释产品用户体验评价时的边际作用，绘制回归系数直方图，见图 7。从图中可看出，各项客观数据的边际作用大小相当。评价模型中，用户体验评价由 8 项客观数据根据不同权重综合得出，能够避免单一数据无法全面、准确反映用户体验愉悦度，使评价的结果更为客观和可靠。

#### 4.3 模型验证

对同类产品 Car-life 进行验证试验。重新招募 10 名被试进行试验验证。将眼动、面部表情和手指形式数据代入评价数学模型中，得到 10 名用户完成 3 个任务的模型计算值，并与主观评价分数实际值进行对比分析，见图 8。

使用式 (7) 计算评价模型的准确率为 0.886，该模型能够在较高的准确率下对产品用户体验评价进行预测，模型有效。

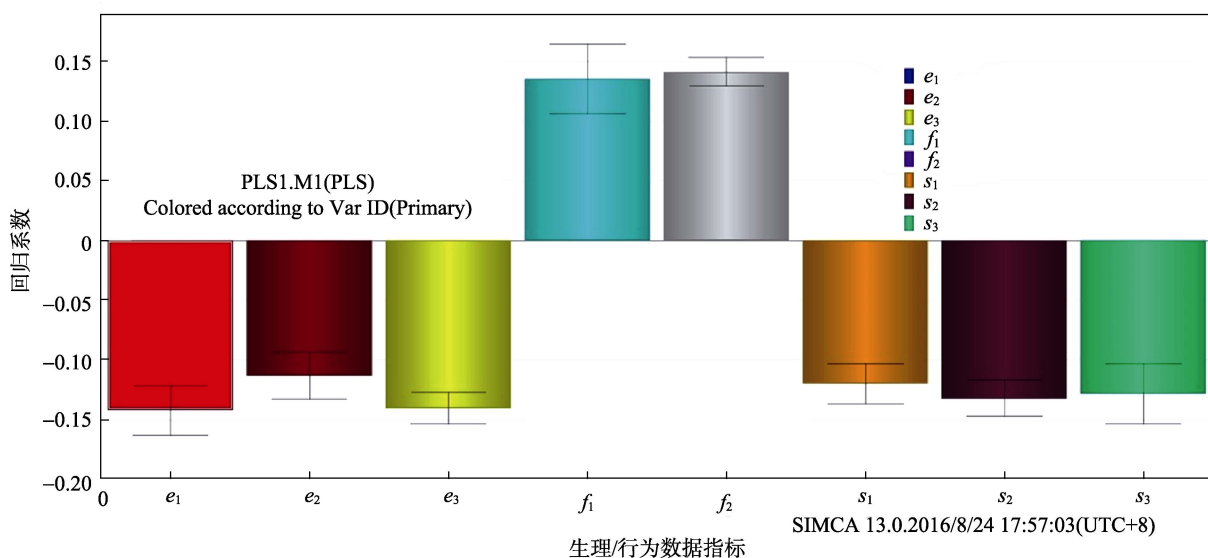


图 7 回归系数直方图  
Fig.7 Histogram of regression coefficient



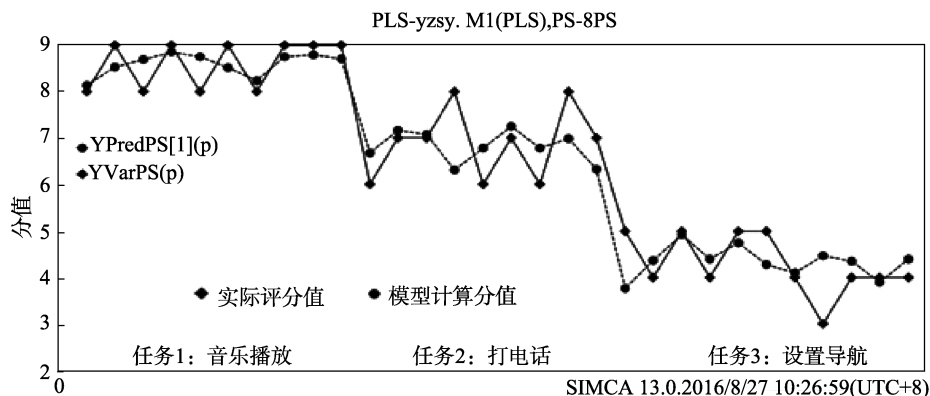


图8 评价模型验证分析

Fig.8 Validation analysis of evaluation model

## 5 结语

本文分析了手机—汽车互联产品用户感知体验评价的过程,建立了一套产品用户体验测试评价体系。提出了基于客观数据的产品用户体验测试评价模型,通过产品用户体验客观测量数据与主观评价印证实验,使用偏最小二乘回归分析方法建立了客观数据与主观评分之间的数学模型,并对该模型进行了分析和验证。结果表明,该模型能够客观反映该类产品用户体验的综合评价,得到了一组可量化的评价指标。为解决产品用户体验主观评价难以准确测量的问题,提供了一种为客观的综合评价的方法。通过测试评价结果能够指导产品的设计,对产品用户体验改进具有实际的工程应用价值。

### 参考文献:

- [1] 谭浩,李谟秧.智能车载系统的音乐服务与交互设计研究[J].包装工程,2015(8):17—21.  
TAN Hao, LI Mo-yang. Research on Music Service and Interactive Design of Intelligent Vehicle System[J]. Packaging Engineering, 2015(8): 17—21.
- [2] 罗仕鉴,朱上上.手机界面中基于情境的用户体验设计[J].计算机集成制造系统,2010(2):239—248.  
LUO Shi-jian, ZHU Shang-shang. User Experience Design Based on Context in Mobile Phone Interface[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010(2): 239—248.
- [3] 唐帮备,郭钢,王凯.联合眼动和脑电的汽车工业设计用户体验评选研究[J].计算机集成制造系统,2015,21(6):1449—1459.  
TANG Bang-bei, GUO Gang, WANG Kai. User Experience Evaluation and Selection of Automobile Industry Design with Eye Movement and Electroencephalogram[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(6): 1449—1459.
- [4] 李永锋,朱丽萍.基于模糊层次分析法的产品可用性评价方法[J].机械工程学报,2012(14):183—191.  
LI Yong-feng, ZHU Li-ping. Product Usability Evaluation Method Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of mechanical engineering, 2012(14): 183—191.
- [5] 罗仕鉴,朱上上.用户体验与产品创新设计[M].北京:机械工业出版社,2010.  
LUO Shi-jian, ZHU Shang-shang. User Experience and Product Innovation Design[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2010.
- [6] 廖勇.基于三角模糊数的铁路客运站选址方案评价方法[J].中国铁道科学,2009(6):119—125.  
LIAO Yong. Method of the Plan of Site Selection Railway Passenger Evaluation Based on triangular Fuzzy Number[J]. China Railway Science, 2009(6): 119—125.
- [7] HSIAO S W. An Online Affordance Evaluation Model for Product Design[J]. Design Studies, 2012, 33(2): 126—159.
- [8] KHUSHABA R N. Choice Modeling and the Brain: a Study on the Electroencephalogram of Preferences[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(16): 12378—12388.
- [9] PENG Y. Design and Implementation of a Real-time Eye Tracking System[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2013, 20(1): 1—5.
- [10] SOLTYSIK D A. Improving the Use of Principal Component Analysis to reduce Physiological Noise and Motion Artifacts to Increase the Sensitivity of Task[J]. Journal of Neuroscience Methods, 2015, 241(1): 18—29.
- [11] 刘新.好设计,好商品工业设计评价[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.  
LIU Xing. Good Design, Good Product, Industrial Design Evaluation[M]. Beijing: China Building Industry

- Press, 2011.
- [12] GAUDIOSO E. Evaluation of Temporal Stability of Eye Tracking Algorithms Using Webcams[J]. *Expert Systems with Applications*, 2016, 64: 69—83.
- [13] RETEGI A. A New Multimethod Tool to Evaluate the Perception of Conceptual User Experiences[J]. *Computers in Human Behavior*, 2015, 52: 359—363.
- [14] DANNER L. Facial Expressions and Autonomous Nervous System Responses Elicited by Tasting Different Juices[J]. *Food Research International*, 2014, 64: 81—90.
- [15] HONG K, PARK Y, SUH H J. Sleep-promoting Effects of a GABA/5-HTP Mixture: Behavioral Changes and Neuromodulation in an Invertebrate Model[J]. *Life Sciences*, 2016, 150: 42—49.
- [16] 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. Product Modeling Scheme Selection Model Based on Multiple Eye Movement Data[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2016(3): 658—665.
- [17] 王惠文, 吴载斌, 孟洁. 偏最小二乘回归的线性与非线性方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- WANG Hui-wen, WU Zhai-bin, MENG Jie. *Linear and Nonlinear Methods for Partial Least Squares Regression*[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2006.
- [18] SCHLITTGEN R, RINGLE C M, SARSTEDT M, et al. Segmentation of PLS Path Models by Iterative Reweighted Regressions[J]. *Journal of Business Research*, 2016, 69(10): 4583—4592.
- [19] SCHUBRING S, LORSCHIED I, MEYER M, et al. The PLS Agent: Predictive Modeling with PLS-SEM and Agent-based Simulation[J]. *Journal of Business Research*, 2016, 69(10): 4604—4612.