

基于用户偏好对比的智能车载交互质量评价方法

吴昊宇, 郭钢, 唐秋阳, 李文博
(重庆大学, 重庆 400044)

摘要: **目的** 解决智能车载系统评价缺乏针对性、指标权重确定缺乏客观依据、被试对主观问卷理解存在偏差和评分主观性强等问题, 提高智能车载系统可用性。**方法** 分析人机交互质量对用户偏好影响机理, 建立智能车载系统客观评价指标体系, 并运用三角模糊数构建客观评价模型, 然后招募 30 名被试对手机导航和车载导航对比实验, 通过客观评价指标数据确定客观评价指标权重由此评价两款产品交互质量, 并对所建立模型进行验证。**结果** 分析实验结果表明手机导航的交互设计质量更高。**结论** 本文所述基于偏好的智能车载系统客观评价模型可用于智能车载系统可用性评价, 对产品的开发和优化具有指导意义, 并为人机界面设计评价体系提供了实践方法和理论体系。

关键词: 车载系统; 客观评价; 可用性; 手指追踪

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)06-0245-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.06.042

Interaction Quality of Intelligent In-vehicle System Based on User Preference

WU Hao-yu, GUO Gang, TANG Qiu-yang, LI Wen-bo
(Chongqing University, Chongqing 400044, China)

ABSTRACT: The paper aims to solve problems such as usability standard is not targeted for interactive evaluation, index weight determination lacks of objective basis and subjects might distort the meaning of questionnaire, so as to improve the usability of intelligent in-vehicle system. The mechanism of user preferences for human-computer interface quality was analyzed. Then, an objective evaluation index system of intelligent in-vehicle system was constructed. And an objective evaluation model of intelligent in-vehicle system was established. Thirty subjects were recruited to set destination using smartphone and in-vehicle information system respectively. Indexes' weights were determined by the experimental data, and the interactive quality of intelligent in-vehicle system was quantified by this model. By analyzing the data, it was found that interaction quality of smartphone was better than that of the intelligent in-vehicle system. The objective assessment model for preference based in-vehicle systems can be used to assess the usability of intelligent in-vehicle system. It is meaningful for the development and optimization of intelligent in-vehicle systems. It also provides practical method and theoretical system for evaluation system of human-computer interface design.

KEY WORDS: in-vehicle system; objective evaluation; usability; finger tracking

随着智能网联技术的迅速发展, 汽车在一定程度上成为消费级电子产品, 智能车载系统已成为汽车不可或缺的一部分。优秀的智能车载系统将带来高附加值, 一定程度上决定主机厂的核心竞争力。智能车载

系统在不断发展的同时依然存在很多问题, 智能车载系统的使用频率相对预期还有一定差距, 在新鲜感过去之后, 不少用户习惯使用智能手机完成智能车载系统某些重要功能, 如导航、音乐等。智能车载系统和

收稿日期: 2018-11-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(51375510)

作者简介: 吴昊宇(1993—), 男, 重庆人, 重庆大学硕士生, 主攻需求挖掘、交互设计与用户体验测试评价。

通信作者: 郭钢(1960—), 男, 重庆人, 博士, 重庆大学教授, 主要研究方向为汽车数字化设计与制造需求挖掘、交互设计与用户体验测试评价。

智能手机是典型的人机交互产品,用户在选购产品的过程中,注重产品的性能和功能,更注重产品的可用性^[1]。本文以人机交互客观评价指标和指标权重确定为切入点,建立智能车载系统客观评价指标体系,提出基于实验测试结果的指标权重确定和综合评价方法,解决智能车载系统可用性评价问题,为产品开发者提供设计依据。

1 指标权重确定和综合评价模型

通常评价可用性的指标包括完成特定任务所需时间、出错次数、求助次数和操作步骤数等^[2]。随着产品设计转向用户导向,用户满意度受到重视,基于李克特量表的问卷被广泛应用于量化用户的主观感受,量化对象包括可用性、造型、气味和触感等^[3-7]。主观评价结果往往受到人群社会属性的影响,用户对于问卷中专业和细分问题往往不能给出准确的评分,过长的问卷还会造成用户抵触从而影响评价结果。模糊层次分析法、灰色理论等方法能一定程度上减少主观性的影响^[8-9],科技产品消费观念、相似产品消极体验会影响被试对产品的接受度^[10]。目前,对人机交互客观评价的研究逐渐增多,如基于眼动追踪测试,

注视频率、注视时间等指标常用来评价智能车载系统可用性^[11-14]。在进行人机交互任务时,注视点集中在中控屏或手机屏幕等交互界面上,眼动数据包含较少交互过程的信息,因此采用眼动追踪评价人机交互界面说服力不足。在交互过程中,手指是完成交互任务的重要部分,手指运动指标能够反映交互过程中可用性问题^[15]。

指标权重通常由专家进行打分确定,尽管有一致性指标和随机一致性比率进行约束,其仍受到主观性的影响。在专家确定指标权重后,被试对各项指标进行打分,分值乘以权重最终获得综合评分。事实上,被试能准确表达对被测对象的整体感受,如接受或是抵触。但对于实验者提出的各项细分的评价指标,被试难以做出准确反映自身情况的评分,因此,在指标权重确定及评分过程中都存在极大的主观性和随机性。本文提出基于实验结果的指标权重确定和综合评价模型,通过具有明确偏好的被试完成智能车载系统和智能手机的交互任务,结合客观评价指标数据差异程度和被试偏好,确定各项指标重要程度。指标数据差异程度和指标重要程度通过三角模糊数量化,客观综合评价模型见图1。

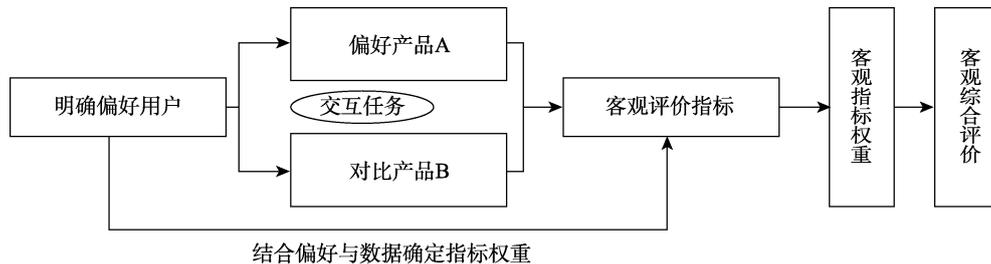


图1 客观综合评价模型
Fig.1 Model of comprehensive objective evaluation

1.1 客观评价指标体系

根据人机界面特点和可用性定义,本文选取出错次数和求助次数作为人机界面交互有效性客观指标^[6]。任务完成时间、步骤数、手指绝对角速度作为人机界面交互效率客观指标。其中,手指绝对角速度为正向指标,其余4个指标为负向指标。出错次数、求助次数、任务完成时间和步骤数由实验人员通过录像回放统计。以上指标均为客观指标,不受被试主观影响,客观评价指标体系见图2。

1.2 客观评价与三角模糊数

指标数据具有一定的范围,单个被试具体指标数值对应的评分具有一定的模糊性。三角模糊数能够很好地捕捉这种模糊性,能有效表示指标数值对应评分,如被试在交互过程中完成任务步骤数的范围为5~29,该指标是负向指标,数值越低对应评分越高,将区间五等分,每一个子范围对应一个三角模糊数。若被试的完成任务步骤数16、24和9,则对应的三角模糊数为(3, 5, 7)、(1, 3, 5)和(7, 9, 10)。建立每个指

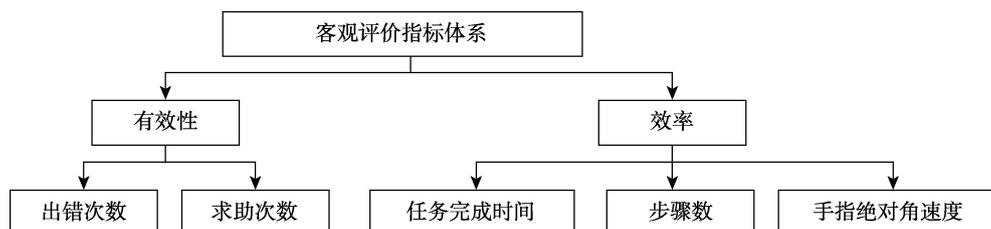


图2 客观评价指标体系
Fig.2 Index system of objective evaluation

标的三角模糊数对照表，将指标数值转化为三角模糊数评级，完成任务步骤数-三角模糊数对照见表 1。

表 1 完成任务步骤数-三角模糊数对照
Tab.1 League table of number of steps-TFNs

步骤数	三角模糊数
5~9	(7, 9, 10)
10~14	(5, 7, 9)
15~19	(3, 5, 7)
20~24	(1, 3, 5)
25~29	(0, 1, 3)

指标权重由对比测试结果确定。被试对产品整体偏好能够准确描述，对具体指标的评分具有主观性和随机性，因此本文选取智能车载系统和智能手机作为测试对象，被试对其中一款产品具有明确的偏好。对两款产品对应指标进行成对样本 t 检验分析，若被试使用偏好产品 A 过程中指标数据显著高于对比产品 B，则该指标权重大，为非常重要；被试使用偏好产品过程中指标数据显著低于对比产品，则该指标权重小，为不重要。

指标的成对样本 t 检验没有显著性差异，使用下列公式确定权重，若 $\frac{|AVG_A - AVG_B|}{AVG_{AB}} > 5\%$ 且 $AVG_A - AVG_B > 0$ ，则该指标权重为重要，反之为不重要；若 $\frac{|AVG_A - AVG_B|}{AVG_{AB}} < 5\%$ ，则该指标权重为一般，其中 AVG_A 、 AVG_B 和 AVG_{AB} 分别表示 A、B 产品同一指标均值、两款产品同一指标数据均值。指标权重-三角模糊数对照见表 2。

表 2 指标权重-三角模糊数对照
Tab.2 League table of weight of index-TFNs

指标权重	三角模糊数
非常不重要	(0.00, 0.10, 0.25)
不重要	(0.15, 0.30, 0.45)
一般	(0.35, 0.50, 0.65)
重要	(0.55, 0.70, 0.85)
非常重要	(0.75, 0.90, 1.00)

1.3 基于三角模糊数的客观指标评价模型

基于三角模糊数的综合评价方法在风险量化、工业设计评、多属性群体决策^[17-18]等领域都有广泛的应用^[17-18]。本文基于此方法建立了客观评价指标模型：

(1) 确定客观指标评价矩阵，每名被试 $U_i (i=1, 2, \dots, m)$ 对偏好产品各项指标 $C_j (j=1, 2, \dots, n)$ 构成的评价矩阵 $\tilde{A} = \tilde{x}_{ij} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$ 用维度为 $m \times n$ 的矩阵来表示，每名被试 U_i 对比产品各项指标 C_j 构成的评价矩阵 $\tilde{B} = \tilde{x}_{ij} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$ 用维度为

$m \times n$ 的矩阵来表示，即 $\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$ ，

$\tilde{B} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$ ，其中， \tilde{x}_{ij} 表示客观指标对

应三角模糊数；(2) 计算指标集结评价，各项指标的集结评价计算公式为

$$\begin{cases} \tilde{J} = (\tilde{x}_j) = ((a_j, b_j, c_j)) \\ a_j = \min\{a_{ij}\}, b_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{ij}, c_j = \max\{c_{ij}\} \end{cases}$$

其中， $i=1, 2, \dots, m$ $j=1, 2, \dots, n$ ，被试对偏好产品 A 和对比产品 B 的集结评价矩阵为 $\tilde{A} = [\tilde{x}_1 \ \tilde{x}_2 \ \dots \ \tilde{x}_n]$ ， $\tilde{B} = [\tilde{x}_1 \ \tilde{x}_2 \ \dots \ \tilde{x}_n]$ ；(3) 分析客观指标数据成对样本 t 检验结果，并结合第一和第二个公式确定各指标权重的矩阵，即 $W = [\tilde{w}_1^T, \tilde{w}_2^T, \dots, \tilde{w}_n^T]$ ；(4) 客观综合评价分数计算公式为 $R = A \otimes W^T = [\tilde{x}_1 \ \tilde{x}_2 \ \dots \ \tilde{x}_n] \otimes [\tilde{w}_1^T, \tilde{w}_2^T, \dots, \tilde{w}_n^T]^T = [\tilde{x}_1 \otimes \tilde{w}_1 \oplus \tilde{x}_2 \otimes \tilde{w}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{x}_n \otimes \tilde{w}_n] = [\tilde{r}]$ ，相关运算法则如下：设 $\tilde{X}_1 = (a_1, b_1, c_1)$ ， $\tilde{X}_2 = (a_2, b_2, c_2)$ ，则 $\tilde{X}_1 \oplus \tilde{X}_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$ ， $\tilde{X}_1 \otimes \tilde{X}_2 = (a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2)$ ，采用 Lee-Li 平均数-标准差法排序： $\bar{x}(\tilde{r}) = \frac{1}{4}(a + 2b + c)$ ， $\sigma(\tilde{r}) = \frac{1}{80}(3a^2 + 4b^2 + 3c^2 - 4ab - 2ac - 4bc)$ ，比较模糊数大小的规则为： $\bar{x}(\tilde{r}_1) > \bar{x}(\tilde{r}_2)$ ，则 $\tilde{r}_1 > \tilde{r}_2$ ， $\bar{x}(\tilde{r}_1) = \bar{x}(\tilde{r}_2)$ ， $\sigma(\tilde{r}_1) < \sigma(\tilde{r}_2)$ ，则 $\tilde{r}_1 > \tilde{r}_2$ 。

2 实验

选取长安 CS75 CA-Link 智能车载系统和华为 Mate S 智能手机作为评价对象，设置导航目的地为测试任务。被试在实验前已充分熟悉手机、车载导航操作。为体现偏好性，所有被试习惯使用智能手机导航。

2.1 被试

共招募 30 名被试，年龄范围为 23 岁至 45 岁，性别比例 4 : 1，所有被试均有 2 年及以上驾龄。所有被试听力视力正常、休息良好，测试前均被告知和签订知情同意书，单个测试持续约 1 小时。测试完成后每名被试将会获得报酬人民币 150 元。

2.2 实验设备

长安 CS75 智能车载系统作为汽车导航，屏幕尺寸为 17.7 (w) × 10 cm (h)，智能车载系统界面见图 3。华为 Mate S 手机作为手机导航，屏幕尺寸为 6.85(w) × 12.2 cm (h)，智能手机界面见图 4，两款设备均使用相同导航软件和输入法，并根据被试使用习惯预先设定九宫格或全键盘。



图3 智能车载系统界面
Fig.3 Interface of intelligent in-vehicle system

2.3 测试任务

被试分别使用手机导航和车载导航设置相同目的地。为避免学习效应对实验结果的影响，被试被随机分为两组，其中一组先使用手机导航，另一组先使用车载导航。每名被试必须完成两项任务，且不允许讨论与实验相关的问题。在正式实验之前，被试有10分钟时间熟悉设备。实验过程中，实验助理不允许提示被试，除非他们请求帮助。

2.4 数据采集

手指运动视频由罗技 C920 摄像头采集，视频文

件被导入到 EthoVision XT 11.5 软件中，EthoVision XT 11.5 软件界面见图 5，通过该软件获得手指运动数据。



图4 智能手机界面
Fig.4 Interface of smart phone



图5 EthoVision XT 11.5 软件界面
Fig.5 Interface of EthoVision XT 11.5

3 数据结果与指标权重确定

3.1 有效性对比和效率对比

因没有在实验助理指令下完成任务，4组数据未被纳入统计分析。出错次数与求助次数的成对样本 *t* 检验见表 3，为输入目的地过程中出错次数和求助次数的成对样本 *t* 检验结果对比，效率指标的成对样本

t 检验见表 4，为效率指标的对比。

表3 出错次数与求助次数的成对样本 *t* 检验
Tab.3 Errors and help times paired sample *t*-test

手机-车机	平均值	标准差	<i>t</i>	Sig (双侧)
出错次数	0.230	0.992	1.186	0.247
求助次数	0.192	0.567	1.792	0.096

表 4 效率指标的成对样本 *t* 检验
Tab.4 Efficiency index paired sample t-test

	平均值	标准差	<i>t</i>	Sig (双侧)
任务完成时间	27.2	63.0	2.20	0.037
步骤数	0.384	6.90	0.284	0.779
手指绝对角速度	679.05	141.10	2.90	0.080

3.2 客观指标权重确定

手机导航输入目的地平均出错次数略高于使用车载导航。智能车载系统和智能手机都安装相同导航软件，由于屏幕尺寸不同，按键尺寸也不同。按键尺寸大小与输入过程中的出错率相关，按键尺寸越大，出错率越小^[19]。驾驶员使用智能手机的时间普遍高于使用智能车载系统时间，被试对智能手机的熟悉程度显然弥补了智能手机屏幕尺寸小的缺陷，因此，确定出错次数指标对被试偏好影响的权重为不重要。

手机导航输入目的地平均求助次数略高于使用车载导航 (*t* = 1.792; *p* = 0.096)，因此，确定求助次数指标对被试偏好影响的权重为不重要。

被试使用手机导航的任务完成时间显著低于车载导航 (*t* = -2.20; *p* < 0.05)。在相同任务下，被试使用手机导航能更快完成任务，屏幕考虑到大小差异、用户对手机和车载设施的熟悉度差异，结合权重确定公式任务完成时间指标对被试偏好影响的权重为一般。

被试使用手机导航和车载导航完成任务的步骤

数没有显著差异 (*t* = 0.284; *p* = 0.779)，其差值绝对值与人均步骤数比例约为 3%，因此，结合权重确定公式步骤数指标权重为一般。

手指绝对角速度有显著差异 (*t* = 5.03; *p* < 0.05)。手指绝对角速度为正向指标，被试在使用手机导航的手指绝对角速度更高，操作高效，该指标权重为非常重要。

综上所述，客观评价指标权重的模糊矩阵为：

$$W^T = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \\ \tilde{w}_2 \\ \tilde{w}_3 \\ \tilde{w}_4 \\ \tilde{w}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (0.15, 0.30, 0.45) \\ (0.15, 0.30, 0.45) \\ (0.35, 0.50, 0.65) \\ (0.35, 0.50, 0.65) \\ (0.75, 0.90, 1.00) \end{bmatrix}$$

4 综合评价

26 名被试分别完成偏实验后产生的客观指标数据偏好产品 A 客观指标数据结果见表 5，对比产品 B 客观指标数据结果见表 6。C₁~C₅ 分别表示出错次数、求助次数、任务完成时间、步骤数、手指绝对角速度。

将实验数据转换为三角模糊数后，按模糊综合评价步骤进行数据处理。最终得到两款产品客观综合评分见表 7。该分数客观反映了被试对手机导航和车载导航偏好差异的程度，结合指标权重可知被试对手机导航人机界面交互设计的质量更高。

表 5 偏好产品 A 客观指标数据结果
Tab.5 Result for objective indicator of preference product A

指标	被试																									
	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₇	U ₈	U ₉	U ₁₀	U ₁₁	U ₁₂	U ₁₃	U ₁₄	U ₁₅	U ₁₆	U ₁₇	U ₁₈	U ₁₉	U ₂₀	U ₂₁	U ₂₂	U ₂₃	U ₂₄	U ₂₅	U ₂₆
C ₁	0	0	0	0	3	1	1	1	0	2	1	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1
C ₂	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
C ₃	190	53	43	85	170	173	100	160	63	52	99	85	107	142	36	168	104	56	36	62	78	181	118	180	98	73
C ₄	27	8	10	10	18	13	12	19	7	12	13	12	18	29	6	18	11	8	7	7	11	16	21	20	11	19
C ₅	860	690	801	644	1034	894	908	921	884	665	706	827	710	573	578	559	537	670	567	608	604	690	608	636	668	705

表 6 对比产品 B 客观指标数据结果
Tab.6 Result for objective indicator of preference product B

指标	被试																									
	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₇	U ₈	U ₉	U ₁₀	U ₁₁	U ₁₂	U ₁₃	U ₁₄	U ₁₅	U ₁₆	U ₁₇	U ₁₈	U ₁₉	U ₂₀	U ₂₁	U ₂₂	U ₂₃	U ₂₄	U ₂₅	U ₂₆
C ₁	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	2	1	0	0	0	2
C ₂	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
C ₃	194	86	111	186	213	129	147	215	121	92	84	70	120	99	307	108	108	95	59	86	116	138	136	208	78	114
C ₄	24	9	11	15	27	9	8	24	14	15	10	12	14	10	18	11	12	8	7	12	18	20	7	11	12	15
C ₅	1078	685	570	626	593	663	748	560	608	539	551	568	587	568	515	695	603	634	550	568	545	591	656	640	748	1078

表7 客观综合评分
Tab.7 Objective comprehensive scores

	手机导航 A	车载导航 B
客观综合评分 ($\bar{x}(\tilde{r})$)	15.02	14.45

5 结语

该方法能有效量化用户对产品的偏好度,有效发现各项指标对用户偏好的影响程度,对智能车载系统的设计和优化具有指导意义。

虽然本文各指标权重计算方法可运用于企业产品可用性测试评价中,但是增加或减少评价指标则需重新进行实验确定指标权重。后续需要研究更具灵活性的指标权重确定方法,以方便企业进行个性化的可用性测试评价。

参考文献:

- [1] MACK Z, SHARPLES S. The Importance of Usability in Product Choice: A Mobile Phone Case Study[J]. *Ergonomics*, 2009, 52(12): 1514—1528.
- [2] LI R, CHEN Y V, SHA C. Effects of Interface Layout on the Usability of In-Vehicle Information Systems and Driving Safety[J]. *Displays*, 2017(49): 124—132.
- [3] 林闯, 胡杰, 孔祥震. 用户体验质量(QoE)的模型与评价方法综述[J]. *计算机学报*, 2012(1): 1—15.
LIN Chuang, HU Jie, KONG Xiang-zhen. Survey on Models and Evaluation of Quality of Experience[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2012(1): 1—15
- [4] 王舟洋. 基于用户体验的汽车仪表盘设计研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2015.
WANG Zhou-yang. Research of Vehicle Dashboard Design Based on User Experience Method[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2015.
- [5] 钮建伟, 俞佳莉. 国内主流智能手机操作系统可用性评价[J]. *工业工程与管理*. 2014(4): 104—108.
NIU Jian-wei, YU Jia-li. Usability Evaluation of Major Smartphone Operating Systems in China[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2014(4): 104—108.
- [6] 唐帮备, 郭钢, 夏进军. 基于用户视/触觉体验的工业设计材质测评方法研究[J]. *机械工程学报*, 2017(3): 162—172.
TANG Bang-bei, GUO Gang, XIA Jin-jun. Method for Industry Design Material Test and Evaluation Based on User Visual and Tactile Experience[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2017(3): 162—172.
- [7] 唐帮备, 郭钢, 夏进军. 汽车内饰材料气味的用户嗅觉体验测评及装置[J]. *中国机械工程*, 2017, 28(2): 206—214.
TANG Bang-bei, GUO Gang, XIA Jin-jun. Method and Device for Material Odor Evaluation and Selection of Automobile Interior Design Based on User's Olfactory Sensation Experiences[J]. *China Mechanical Engineering*, 2017, 28(2): 206—214.
- [8] 庞庆华. 基于灰色理论的软件系统人机界面综合评价模型[J]. *计算机工程*, 2007(18): 59—61.
PANG Qing-hua. Comprehensive Evaluation Model of Human Computer Interface of Software System Based on Grey Theory[J]. *Computer Engineering*, 2007(18): 59—61.
- [9] 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.
- [10] KIM J, KIM S, NAM C. User Resistance to Acceptance of In-Vehicle Infotainment(IVI) Systems[J]. *Telecommunications Policy*, 2016, 40(9): 919—930.
- [11] 李永锋, 李慧芬, 朱丽萍. 基于眼动追踪技术的车载信息系统界面设计研究[J]. *包装工程*, 2015, 36(12): 65—68.
LI Yong-feng, LI Hui-fen, ZHU Li-ping. The Interface Design of In-Vehicle Information Systems Based on Eye-tracking Technology[J]. *Packaging Engineering*, 2015, 36(12): 65—68.
- [12] 刘青, 薛澄岐. 基于眼动跟踪技术的界面可用性评估[J]. *东南大学学报(自然科学版)*, 2010(2): 331—334.
LIU Qing, XUE Chen-qi. Interface Usability Evaluation Based on Eye Tracking Technology[J]. *Journal of Southeast University(Natural Science Edition)*, 2010(2): 331—334.
- [13] BIRRELL S A, FOWKES M. Glance Behaviours When Using an In-vehicle Smart Driving Aid: A Real-world, on-road Driving Study[J]. *Traffic Psychology and Behaviour*, 2014(22): 113—125.
- [14] PURUCKER C, NAUJOKS F, PRILL A. Evaluating Distraction of In-vehicle Information Systems While Driving by Predicting Total Eyes-off-road Times with Keystroke Level Modeling[J]. *Applied Ergonomics*, 2017(58): 543—554.
- [15] 葛列众, 戴均开, 王哲. 手机可用性的绩效评估实验[J]. *人类工效学*, 2006(4): 8—10.
GE Lie-zong, DAI Jun-kai, WANG Zhe. Performance Evaluation Experience of Mobile Telephone's Usability[J]. *Chinese Journal of Ergonomics*, 2006(4): 8—10.
- [16] HORNBAEK K. Current Practice in Measuring Usability: Challenges to Usability Studies and Research[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2006, 64(2): 79—102.
- [17] 朱松岭, 周平, 韩毅. 基于模糊层次分析法的风险量化研究[J]. *计算机集成制造系统*, 2004(8): 980—984.
ZHU Song-ling, ZHOU Ping, HAN Yi. Research on Risk Analysis Based on Fuzzy AHP Method[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2004(8): 980—984.
- [18] 黄智力. 基于三角模糊数型群体多属性决策法研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
HUANG Zhi-li. Study on Method for Group Multi-attribute Decision-making Based on Triangular Fuzzy Number[D]. Xiamen: Xiamen University, 2009.
- [19] KIM H, KWON S, HEO J. The Effect of Touch-key Size on the Usability of In-vehicle Information Systems and Driving Safety During Simulated Driving[J]. *Applied Ergonomics*, 2014, 45(3): 379—388.