

车内三维交互手势可用性评价研究

张家祺, 李彩洁, 丁满, 胡茜雯, 赵芳华
(河北工业大学, 天津 300401)

摘要: **目的** 通过建立评价模型对手势进行评价, 以此提高车内三维手势的可用性。**方法** 研究三维手势的可用性基本理论及其在汽车中的应用现状, 采用模糊综合评价法对车内三维手势的可用性进行评价, 实现手势可用性的量化评价。通过对驾驶环境中的任务、用户、环境及用户参与等方面进行分析, 提取可用性影响因素, 经过删选合并确定评价指标, 建立模糊综合评价模型。对车内音量调节功能的手势进行评价实践, 通过对比评价结果, 从备选手势集中确定最终手势。构建场景模拟实验, 通过对比评价和实验两种方式对手势备选集的评价结果进行分析, 证明评价模型的有效性。**结论** 建立车内三维交互手势可用性评价指标体系和模型, 对手势可用性进行量化评价, 为车内手势的设计提供可参考的理论依据。

关键词: 汽车人机交互; 三维手势; 可用性评价; 模糊综合评价法

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)12-0159-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.12.030

Usability Evaluation of Three Dimensional Interactive Gesture

ZHANG Jia-qi, LI Cai-jie, DING Man, HU Qian-wen, ZHAO Fang-hua
(Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

ABSTRACT: The evaluation model is used to improve the availability of 3D hand gesture by evaluating gestures. The availability theory of 3D gesture and its application in automobile are researched, and the fuzzy synthetic evaluation method is used to evaluate it and quantify the gesture availability. Through analysis of the driving environment tasks, users, the environment and user participation, the useful factors are extracted, and a fuzzy comprehensive evaluation model is established after deleted and merged. Using the evaluation to assess the volume adjustment function of the car, the final gesture from the optional gesture set is determined by comparing the evaluation results and the effectiveness of the evaluation model is proved by simulation experiments. The model of 3D hand gesture usability evaluation is established, which can provide the theoretical basis for the design of the interior gesture through quantitative evaluation.

KEY WORDS: human-computer interaction; 3D gesture; usability evaluation; fuzzy synthetic evaluation method

近年, 多种新型的人机交互方式如三维手势交互、眼控交互、语音交互等逐渐出现于各种概念车及量产车中, 其中三维手势交互因其通用性、高效性等优势, 应用潜力巨大^[1]。作为人机交互的媒介, 每个三维手势都与汽车控制系统中特定的应用程序或功能形成匹配关系, 三维手势的可用性直接影响用户的驾驶安全及满意度。然而, 目前手势在设计及选用时偏于主观化, 缺乏具体的数据测量标准及评价模式,

车内三维手势可用性偏低。由于手势设计的模糊及不确定性, 本课题运用模糊综合评价法从量化角度对手势可用性评价进行研究。

1 三维手势可用性

可用性指一定范围的用户在确定的环境中完成具体任务的能力^[2]。随着理论不断发展, 可用性被

收稿日期: 2018-02-12

基金项目: 河北省创新资助项目 (CXZZSS2017038)

作者简介: 张家祺 (1963—), 男, 天津人, 河北工业大学建筑与艺术设计学院教授, 主要研究方向为设计学、机械设计。

通信作者: 李彩洁 (1991—), 女, 河北人, 河北工业大学建筑与艺术设计学院硕士生, 主攻产品设计。

广泛应用于工业产品、互联网产品、软件系统等多个领域。将可用性理论融入三维手势设计可以使人机交互更加直观、自然。许多学者已对此进行相关研究并取得一定成果。Michael Nielsen 提出了易学性、高效性和隐喻性 3 项指标^[3]；孙效华对手势交互的主要因素和手势交互过程进行分析后，提出了可靠性、容错性、连贯性、继承性等设计原则^[4]；吴金铎通过总结整理以往研究，获得了易学性、隐喻性、可记性、舒适性 4 个三维手势的可用性指标，并提出了一套可用性高的三维手势集合^[5]。

自 2013 年谷歌公司提交了手势控制汽车技术的专利开始，三维手势交互这一新型的人机交互形式逐渐成为各个品牌汽车的创新方向^[6]，但是目前车内手势交互体验并不乐观，尚存在诸多问题：（1）手势设计不符合人的心理预期以及手势习惯，造成驾驶分心；（2）手势之间形态设计没有明显区别，导致手势识别系统的错误判断；（3）手势动作复杂晦涩，增加了使用者的心理负担。由此，手势可用性问题的解决，成为提升用户满意度的关键。对手势的可用性评价进行研究并以此指导手势设计，对于提高人机交互体验及用户满意度具有重要影响。

2 车内三维交互手势可用性评价

2.1 可用性评价方法

可用性评价方法可根据评价对象特征进行确定。车内三维手势的设计受多因素综合影响，其可用性水平难以精确判断，具有复杂模糊性。评价方法中模糊综合评价法利用模糊关系合成原理对非线性因素进行量化综合，其评判逐对进行，可避免评价对象集合影响^[7]，适于多层次、多因素等复杂问题的评判，因此文章采用模糊综合评价法对三维手势可用性进行评价，实现手势可用性程度的综合量化。模糊综合评价的基础为评价指标的构建，由可用性定义可知可用性依附任务、用户、工具和环境这 4 个因素相互作用。目前，利用摄像头或距离传感器，汽车装载系统能精确的识别各种形态的手势，三维手势识别技术相对已经比较成熟，因此这里对工具因素暂不考虑，主要从任务、用户、环境 3 个方面对车内三维手势可用性影响因素进行探究，确定评价指标，具体评价流程见图 1。

2.2 确定车内手势可用性评价指标

2.2.1 驾驶任务、用户及环境分析

近年，汽车人机交互系统随着信息、传感器、网络等新科技的加入变得愈发复杂化^[8]，手势作为人机交互的媒介，将面临繁多的车内任务，手势和功能任务之间势必将形成一对多的对应关系，手势的设计必

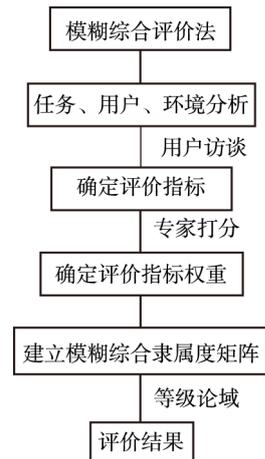


图 1 模糊综合评价流程

Fig.1 Fuzzy comprehensive evaluation process

须满足简单、容易记忆来减少用户的驾驶分心；此外，不同操控命令相应的手势需要具备明显的形式区别。不同任务之间转换频繁，前后任务操作手势的区分度必然会影响用户的误操作几率，因此手势的简易性及差异性在保证驾驶安全的关键。

根据解剖学研究发现，手的骨骼由 27 个不同的关节构成，每个关节所表现的状态和执行的运动维度结合手臂运动形成手势^[9]。在汽车环境中，操作者的手臂活动及操纵范围为近似于椭球形的空间曲面^[10]，因为各类汽车的车内空间会因功用不同有所差异，所以在设计手势时应使手臂的运动范围限定在汽车特定的物理空间内，避免因手势识别无效增加用户的危险系数。此外，不同年龄段、不同性别、不同职业的人群对于汽车有不同的驾驶习惯及使用目的，不同的手势动作因其难易程度的不同，造成人的疲劳程度也会有所区别，因此，汽车各个功能、使用情况的不同，也会导致使用手势的频率、疲劳度存在差异。

通过研究用户在交互方面的认知，降低用户在进行手势应用时的障碍，减少用户驾驶分心。首先，手势的设计要具有匹配性。人们在日常传递信息时，有 70% 是依靠肢体语言，建立日常交流与人机交互的匹配度，利用日常表达时使用手势的隐喻来设计手势，能有效降低用户的认知障碍。其次，手势的设计需具备继承性。用户与现实事物的互动方式，会形成用户新的行为认知，例如用户通过推拉方式打开抽屉，此事件可衍生出打开事物新层级的认知。此外，用户与触屏手势即二维手势的互动方式也会扩展出新的手势语义，例如拇指、食指张开闭合的手势可以实现对象的放大缩小等。

2.2.2 指标分析及确定

在前人对于三维手势可用性的研究基础上，对车内的任务、用户、环境等因素进行研究，共提取三维手势设计相关因素 28 个。经过三维手势练习，在用户熟悉

三维手势操作方式后，进行用户访谈，见图 2。依据访谈情况对因素进行归并删除，将抽象因子定义为可用性评价的一级指标，将具象因子下降为二级指标，最终提

取因素 13 个，包括抽象因素 4 个，具象因素 9 个，见表 1。将二级指标具体化并分属到相关的一级指标下，得出车内三维交互手势可用性评价指标，见表 2。



图 2 手势练习及用户访谈
Fig.2 Gesture practice and user interviews

表 1 可用性评价因素
Tab.1 Usability evaluation factor

三维手势可用性相关因素	效率性、用户主观满意度、易学性、可记忆性、出错率、高效性、隐喻性、舒适性、识别性、可见性、反馈性、统一标准、可猜测性、自然匹配性、引导、可靠性、容错性、连贯性、继承性、意象映射、间隔性、逻辑性、适应性、安全性、匹配度、疲劳度、简易性、灵活性
归并删除后剩余因素	高效性、隐喻性、舒适性、安全性、简易性、连贯性、自然匹配性、继承性、疲劳度、适应性、可记忆性、识别性、可靠性
抽象元素	高效性、隐喻性、舒适性、安全性
具象元素	简易性、连贯性、自然匹配性、继承性、疲劳度、适应性、可记忆性、识别性、可靠性

表 2 车内三维交互手势可用性评价指标
Tab.2 Three-dimensional gesture usability evaluation index

总目标	一级指标	二级指标
车内三维交互手势可用性评价	高效性	手势操作比较简单，容易操作 手势操作连贯，切换流畅
	隐喻性	生活匹配，与生活中常用手势相关 习惯继承，继承用户与现实事物的互动方式以及触屏交互手势
	舒适性	手势操作疲劳性低，使用过程中不会增加额外驾驶疲劳 使用符合周围环境，手势操作过程中符合使用场景
	安全性	容易记忆，手势操作时不会造成驾驶分心
		手势具有明显特征，在与标准手势有一定差异的区间范围内容易识别 手势操作可靠性高，操作过程中误操作几率小

3 模糊综合评价模型的构建及应用

3.1 确定评价对象

音乐这项娱乐功能已经成为汽车驾驶过程中不可缺少的部分，本文针对调节音量高低这项操作进行手势设计。收集现有的改变音乐音量的三维手势操作，将日常生活中改变音量的手势及二维手势操作进行抽象化提取，对收集的手势动作进行归纳处理，剔除明显不符合可用性指标的手势，合并相似手势，接着对用户进行访谈、场景模拟，记录用户认为最匹配的手

势操作，最终得到 3 种备选手势，见表 3。对调节车内音乐音量的 3 个待选手势进行评价，对手势进行编号处理，备选手势集表示为： $B = \{B_1, B_2, B_3\}$ ，其中 B 为备选手势集， B_1, B_2, B_3 依次为 3 种备选手势。

3.2 建立模糊综合评价的因素集、评语集和权重集

将评价方案的影响因素组成因子集表示为： $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ 及各因子的子集 $U_n = \{U_{n1}, U_{n2}, \dots, U_{nd}\}$ 。其中： U 为一级指标的指标集， U_n 为二级指标， n 为一级指标的个数， d 为一级指标下二级指标个数。具体内容见表 3。

表3 备选手势集
Tab.3 Alternative set of gestures

序号	手势形态	手势描述
手势1		四指微握，食指指向屏幕，上下移动实现音量的大小调节
手势2		五指并拢，水平指向屏幕，五指上下移动实现音量的大小调节
手势3		四指微握，食指指向屏幕，顺时针的旋转实现音量的大小调节

设定所要评价指标的评语集为： $V = \{V_1, V_2, \dots, V_j\}$ 。根据 Likert 量表法，将评语等级分为 5 个等级。并附于对应的分值记为 $N = \{N_1, N_2, \dots, N_j\}$ ，见表 4。

表4 等级分值
Tab.4 Rating scale

评价指标程度 (N)	非常好 (N ₁)	较好 (N ₂)	一般 (N ₃)	较差 (N ₄)	很差 (N ₅)
分值	95	85	75	65	55

权重是某评价内容、项目或要素对于整体评价的重要程度比值，各个评价指标对于评价对象的影响有很大区别。本文运用专家打分法确定各级指标的权重，经过多轮打分后分析统计得：

$$U = [U_1, U_2, U_3, U_4] = [0.258, 0.232, 0.248, 0.262]$$

$$U_1 = [U_{11}, U_{12}] = [0.555, 0.445]$$

$$U_2 = [0.496, 0.504]$$

$$U_3 = [0.521, 0.479]$$

$$U_4 = [0.325, 0.319, 0.356]$$

3.3 构建模糊综合评价的隶属矩阵

$$R_{nd} = \frac{\text{第}n\text{个指标选择}v_j\text{等级的人数}}{\text{总人数}}$$

隶属矩阵为 R ， $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ ， $R_n = \{R_{n1}, R_{n2}, \dots, R_{nd}\}$ ， R_{nd} 为 R_n 的隶属子集，依据评价指标的 5 个等级 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_j\}$ 进行评价，通过调查问卷请第一组的 20 名调查者对改变音量的 3 个手势进行评价，以此结果构建评价指标矩阵。手势 1 调查结果见表 5。

表5 手势 1 调查结果
Tab.5 Gesture survey of the first

题目/选项	非常好	较好	一般	差	极差
手势比较简单，容易操作	14	6	0	0	0
手势与手势之间有一定的连贯性	5	14	1	0	0
手势类似于生活中肢体作用到的手势	10	8	2	0	0
手势类似于机械类或触屏类产品使用过程中经常用到的手势	9	7	4	0	0
手势操作过程中的疲劳度低	9	8	3	0	0
手势形态及使用动作比较符合车内环境	9	10	1	0	0
手势操作容易记忆，减少驾驶分心	14	6	0	0	0
手势具有明显特征，在与标准手势有一定差异的区间范围内容易识别	8	9	2	1	0
手势操作可靠性高，操作过程中误操作几率小	7	9	3	1	0

得高效性评价矩阵：

$$R_{11} = \begin{bmatrix} 14/20 & 6/20 & 0 & 0 & 0 \\ 5/20 & 14/20 & 1/20 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.7 & 0.05 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

同理，得到手势 1 的隐喻性、满意度、安全性评价矩阵：

$$R_{12} = \begin{bmatrix} 10/20 & 8/20 & 2/20 & 0 & 0 \\ 9/20 & 7/20 & 4/20 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.45 & 0.35 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$R_{13} = \begin{bmatrix} 9/20 & 8/20 & 3/20 & 0 & 0 \\ 9/20 & 10/20 & 1/20 & 0 & 0 \\ 0.45 & 0.4 & 0.15 & 0 & 0 \\ 0.45 & 0.5 & 0.05 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$R_{14} = \begin{bmatrix} 14/20 & 6/20 & 0 & 0 & 0 \\ 8/20 & 9/20 & 2/20 & 1/20 & 0 \\ 7/20 & 9/20 & 3/20 & 1/20 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.45 & 0.1 & 0.05 & 0 \\ 0.35 & 0.45 & 0.15 & 0.05 & 0 \end{bmatrix} =$$

可用性评价的多级模糊综合模型求解：

$$B_{11} = U_1 \cdot R_{11} = \begin{bmatrix} 0.555 & 0.445 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.7 & 0.05 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.49975 & 0.478 & 0.02225 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{12} = U_2 \cdot R_{12} = \begin{bmatrix} 0.496 & 0.504 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.45 & 0.35 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4748 & 0.3748 & 0.1504 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{13} = U_3 \cdot R_{13} = \begin{bmatrix} 0.521 & 0.479 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.45 & 0.4 & 0.15 & 0 & 0 \\ 0.45 & 0.5 & 0.05 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.45 & 0.4479 & 0.1021 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{14} = U_4 \cdot R_{14} = \begin{bmatrix} 0.504 & 0.496 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.45 & 0.1 & 0.05 & 0 \\ 0.35 & 0.45 & 0.15 & 0.05 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4797 & 0.40125 & 0.0853 & 0.03375 & 0 \end{bmatrix}$$

得手势 1 的综合权重系数：

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0.49975 & 0.478 & 0.02225 & 0 & 0 \\ 0.4748 & 0.3748 & 0.1504 & 0 & 0 \\ 0.45 & 0.4479 & 0.1021 & 0 & 0 \\ 0.4797 & 0.40125 & 0.0853 & 0.03375 & 0 \end{bmatrix}$$

手势 1 评价得分： $F_1 = K_1 \cdot N = 88.70381$ 。

重复上述过程分别得到手势 2 和手势 3 的评价得分： $F_2=86.62096$ ； $F_3=87.75729$ ，将评价得分进行比较得 $F_1 > F_3 > F_2$ ，因此，3 种备选手势最适合作为车内调节音量大小的手势为手势 1，即四指微握，食指指向屏幕，上下移动实现音量的大小调节。

3.4 评价验证

进行模拟实验，通过第二组实验对象对手势的满意度情况排序来证明评价模型的正确。实验对象处于汽车、厉动 Leap Motion 及笔记本电脑组成的模拟环境中进行手势实验，应用备选的 3 种手势分别进行音乐音量的调节，观察并记录用户的使用过程及使用情况，见表 6。

实验结束对实验对象进行用户访谈，并对 3 种手势的满意程度进行 1~10 的满意度问卷评分，得到用户对于音量调节的 3 种备选手势使用结果数据，数据满足正态分布，应用 SPSS 软件对数据进行分析，分析结果见表 7。由描述性统计结果可知 3 种手势的均值依次为 8.8，7.3，8.1，即手势 1>手势 3>手势 2；方差齐性检验显著性概率 $p=0.774 > 0.05$ ，可对数据进行方差分析，分析结果为整体及两两比较显著性概率均满足 $p < 0.05$ ，因此不同手势的用户满意度有显著差异。综上，证明评价模型评价手势的正确性。

表 6 模拟实验
Tab.6 Simulation experiment

实验对象	第二组的20名实验对象，全部有行车经验
实验仪器	家用汽车；笔记本电脑1台 (LAPTOP-SFM-IFA28, 操作系统为Windows10, CPU为2.60 GHz, 屏幕尺寸为15.6英寸, 分辨率为1920 px×1080 px); 厉动 Leap Motion 体感控制器1台; 手势任务程序为GameWAVE程序应用。
实验流程	将Leap Motion连接电脑，打开GameWAVE软件，设置3种备选手势为音乐调节手势指令，实验者可通过手势操作控制电脑音乐大小。GameWAVE设置见图3。
实验内容	将笔记本电脑放置于中控台上，将LeapMotion置于中控台下方，保证LeapMotion与中控台正前方的垂直距离在50 cm以内，及手势在中控台前方50 cm范围内活动，实验对象在行车环境中，分别针对音乐的音量调节功能应用3种备选手势进行模拟操作。观察用户的手势操作行为及过程。

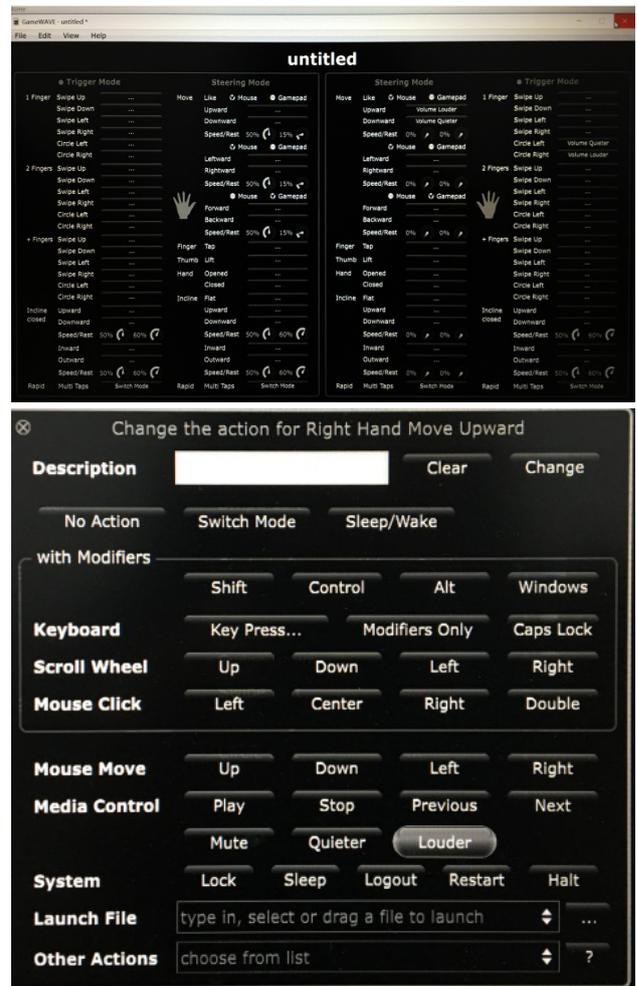


图 3 GameWAVE 软件设置
Fig.3 GameWAVE software settings

表7 SPSS 数据分析结果
Tab.7 The results of data analysis of SPSS

a 描述性统计分析								
	N	均值	标准差	标准误	均值的 95% 置信区间		极小值	极大值
					下限	上限		
手势1	20	8.80	0.834	0.186	8.41	9.19	7	10
手势2	20	7.30	1.031	0.231	6.82	7.78	6	10
手势3	20	8.10	0.968	0.216	7.65	8.55	7	10
总数	60	8.07	1.118	0.144	7.78	8.36	6	10

b 方差齐性检验			
Levene统计量	df1	df2	显著性
0.257	2	57	0.774

c ANOVA					
	平方和	df	均方	F	显著性
组间	22.533	2	11.267	12.543	0.000
组内	51.200	57	0.898		
总数	73.733	59			

d 多重比较						
(I) 手势	(J) 手势	均值差 (I-J)	标准误	显著性	95% 置信区间	
					下限	上限
手势1	手势2	1.500*	0.300	0.000	0.90	2.10
手势1	手势3	0.700*	0.300	0.023	0.10	1.30
手势2	手势1	-1.500*	0.300	0.000	-2.10	-0.90
手势2	手势3	-0.800*	0.300	0.010	-1.40	-0.20
手势3	手势1	-0.700*	0.300	0.023	-1.30	-0.10
手势3	手势2	0.800*	0.300	0.010	0.20	1.40

注: *均值差的显著性水平为 0.05。

4 结语

这里将模糊综合评价法应用于手势可用性评价中,针对具体功能,应用评价模型对备选手势进行综合评价,依据手势评价得分确定最终的操作手势。同时,进行模拟实验,验证了评价模型的正确性。通过评价模型量化手势设计,将手势的可用性水平直观、具象化。在实际进行手势设计及选用时可以采用主客观相结合的方式提高手势的可用性水平。接下来,将对手势交互界面、交互层级结构等交互因素做进一步探讨,探究其对手势设计的影响,为手势设计提供

更准确、科学的理论依据。

参考文献:

- [1] 谭浩,李薇,谭征宇. 车载信息系统三维手势交互产品设计研究[J]. 包装工程, 2015, 36(18): 45—48.
TAN Hao, LI Wei, TAN Zheng-yu. Research on 3D Gesture Interaction Product Design of Vehicle Information System[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(18): 45—48.
- [2] SHACKEL B. Usability-context, Framework, Design and Evaluation[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- [3] NIELSEN M, STÖRRING M, MOESLUNDT B, et al. A Procedure for Developing Intuitive and Ergonomic Gesture Interfaces for HCI[C]//Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction, 2004: 409—420.
- [4] 孙效华,周博,李彤. 隔空手势交互的设计要素与原则[J]. 包装工程, 2015, 36(8): 10—13.
SUN Xiao-hua, ZHOU Bo, LI Tong. Design Elements and Principles of Interactive Gesture Interaction[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(8): 10—13.
- [5] 吴金铎. 2D 和 3D 交互手势的可用性研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2015.
WU Jin-duo. Usability Research of 2D and 3D Interactive Gestures[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2015.
- [6] 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, 36(8): 17—21.
TAN Hao, LI Mo-yang. Research on Music Service and Interaction Design of Intelligent Vehicle System[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(8): 17—21.
- [7] ZADEH L A. Fuzzy Sets[J]. Information and Control, 1965(8): 338—353.
- [8] 曾庆抒. 超以象外虚实相生——汽车人机交互软硬界面整合设计[D]. 长沙: 湖南大学, 2016.
ZENG Qing-shu. The Integration Design of the Auto: Machine Interactive Soft and Hard Interface is Based on the Virtual Reality[D]. Changsha: Hunan University, 2016.
- [9] RIJPKEMA H, GIRARD M. Computer Animation of Knowledge Based Human Grasping[J]. Computer Graphics, 1994, 25(4): 339—348.
- [10] 赵英新. 人机界面设计[M]. 济南: 山东大学出版社, 2011.
ZHAO Ying-xin. Design of Man-Machine Interface [M]. Jinan: Shandong University Press, 2011.