

【工业设计】

手机交互操作性能感知要素研究

谭征宇^{1,2}, 谈笑²

(1.湖南大学 汽车先进设计制造国家重点实验室, 长沙 410082;

2.湖南大学 设计艺术学院, 长沙 410082)

摘要: **目的** 探究高敏感用户对手机交互操作性能的具体感知需求, 为手机软硬件研发机构提供以用户体验为中心的理论指导。**方法** 首先采用文献研究法获得了手机交互操作性能感知要素, 再利用德尔菲法将要素进行整合得到了感知要素集合, 随后通过问卷调研筛选出高敏感用户, 组织高敏感用户参与焦点小组, 对感知要素两两比较赋值, 从而构造了要素权重的判断矩阵, 再运用层次分析法得出各个感知要素的权重。**结论** 确定了21个手机交互操作性能感知要素, 得到了各个要素的权重, 为手机交互操作性能的研究与判定提供了分析框架, 在手机交互操作性能用户感知的质量提升方面提出了改进建议。

关键词: 手机交互操作性能; 用户感知; 用户体验; 要素

中图分类号: TB472 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)02-0114-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.02.020

Perceivable Elements of Smartphone Interaction Performance

TAN Zheng-yu^{1,2}, TAN Xiao²

(1.Hunan University, State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacture for Vehicle Body,

Changsha 410082, China; 2.School of Design, Hunan University, Changsha 410082, China)

ABSTRACT: The work aims to provide a theoretical user-centered guidance for smartphone software and hardware R&D institutions by exploring the specific perception needs of sensitive users on the interaction performance of smartphone. First, the performance perception elements of smartphone interaction were obtained by literature research. Second, the Delphi method was used to integrate the elements to obtain the aggregate of perception elements. Then, the highly sensitive users were screened out through questionnaire survey, the highly sensitive users were organized to participate in focus groups, and the two perception elements were compared and assigned to construct the judgment matrix of the element weights. Then, the weight of each perception element was obtained by means of analytic hierarchy process. 21 performance perception elements of smartphone interaction are determined, and the weight of each element is obtained. It provides an analysis framework for the research and determination of smartphone interaction performance, and puts forward suggestions on improving the quality of user perception of smartphone interaction performance.

KEY WORDS: smartphone interaction performance; user perception; user experience; elements

随着触屏智能手机的普及和多点触控技术的发展, 使得映射用户日常使用习惯的交互手势可以直接和触屏手机进行指令交互, 用户与触屏手机的交互变得更加自然和便捷^[1]。越来越多的手机研发机构开始研究触屏手机和用户之间的关系, 如何让用户在操作

触屏手机时获得更好的交互操作体验是目前研究的热点^[2]。本文研究的对象即为触屏手机交互操作性能中的感知要素, 目的在于探究在具体任务和操作手势下, 用户对手机交互操作性能的感知需求, 进而辅助开发者更好地进行手机软硬件的研发工作。

收稿日期: 2018-10-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(61402159, 60903090)

作者简介: 谭征宇(1979—), 女, 湖南人, 博士, 湖南大学副教授, 主要从事人机交互设计和感性设计方面的研究。

1 手机交互操作性能感知

1.1 手机交互操作性能

手机交互操作性能,是指用户在实际操作手机时体验到的性能。该性能受手机硬件和软件的共同影响,与开发人员的预设应用性能之间会存在一定的差异,软硬件配置越高,该差异越小,反之则越大。

交互的感知观视角是指在交互的过程中,用户对互动性能带来好处的期望和对互动性的主观满意度^[3]。用户和手机交互的过程是控制与反馈的过程^[4],用户的手势作用于屏幕,对手机发出指令,手机作出相应的反馈,用户接受反馈之后,产生对手机交互操作性能的体验和感受,这种感受称为手机交互操作性能感知。

本文对手机交互操作性能感知要素的研究基于高敏感用户,这一类型的用户对手机交互操作性能感知的需求较高,并且善于表达自己的需求。在研究中,如果某一性能满足高敏感用户,就能满足大部分用户的需求。筛选出高敏感用户的目的是让高敏感用户在要素权重分析的过程中构造判断矩阵,从而得出有参考价值的数据,深刻反映用户对交互操作需求的痛点。

事实上,哪些性能指标可以被用户直接感知,用户对哪些性能指标的感知最为强烈,以及不同任务场景和操作手势对用户感知的影响,是本次研究的重点。

1.2 手机交互操作性能整体感知要素

在手机交互操作中,良好的用户体验通过用户可感知的一致性、响应及时性、流畅性和准确性来实现^[5]。一致性代表了用户对设备的连续控制。一致性的测评范围很广,包括评估指尖与被拖动对象(这个对象不光是指图标,泛指屏幕中任何可以被拖动的对象)在屏幕中的拖动滞后距离,以及评估用户操作与传感器控制的对象是否连贯,比如倾斜控制的水流和设备倾斜角之间的角度差^[5]。但是基于手机触屏的交互操作,本文只研究手机界面上可拖动的对象跟着手指触摸点移动的特性,称为跟手性^[6],跟手性是一致性在触屏交互中的体现。响应及时性代表了手机对用户操作输入的响应能力,具体表现为用户操作屏幕(点击、滑动等)到屏幕响应的的时间^[7]。流畅性代表了系统状态的转换能力,它是指用户通过触屏手势等交互操作方式操作手机时,页面状态转换的流畅性^[8]。由于现代科技的发达,采用金属网格和纳米银线等技术制作的手机屏幕具有灵敏度高、响应速度快、强度高、制作工艺简单、生产成本较低的优势,使得手机交互操作中准确性的问题得到了很好的解决^[9],因此准确性在本文不进行讨论。本文的研究重点集中于用

户可感知的跟手性、响应及时性和流畅性,并将这 3 点称为手机交互操作性能整体感知要素,见图 1。

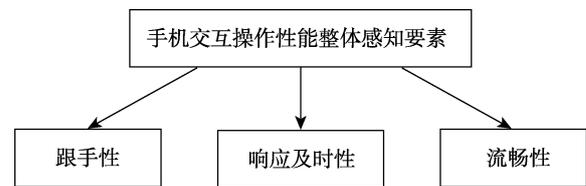


图 1 手机交互操作性能整体感知要素
Fig.1 Overall perception elements of smartphone interaction performance

尽管这 3 个要素代表了用户对手机交互操作性能的整体感知,但是它们没有立足于交互链中的具体交互情景。交互情景在此指的是用户通过手势操控屏幕完成具体的操作任务,从而达到使用手机的目的。在交互的过程中,同一任务可以映射到多种手势,同一手势也可以映射到不同的任务,因此在使用不同的手势完成不同的任务时,用户对手机交互操作性能的感知是有差异的。以响应及时性为例,用户对打开应用响应时间和关闭应用响应时间会有感知差异,用户点击图标打开 APP,希望手机快速响应然后进入到首页,接下来能有足够的时间操作其他任务,所以在此情景下用户对响应时间的容忍度较低;相反,用户在任务完成之后打算退出应用,此时用户在 APP 内暂时没有了具体的操作目标,所以对应用退出响应时间的容忍度较高。由此可见,在整体感知要素的基础上,需要结合操作任务、操作手势,来得到交互操作性能感知要素的集合。

2 手机交互操作性能感知要素集合研究

2.1 手机交互操作任务和手机交互操作手势

基于手机桌面以及手机自带和下载的应用场景,总结了 10 个常用的交互操作任务:打开应用、应用内功能进入、呼出、同级功能切换、输入显示交互、应用内功能返回、关闭应用、移动图片或控件、放大缩小/旋转以及滑动连续页面^[10]。

综合 4 个平台 iOS、Android、PalmOS 以及 Windows,归纳出了 7 个常用的操作手势,可以分为“点”和“滑”。“点”包括点击、双击以及长按;“滑”包括快速滑动和拖动,其中拖动包括单指拖动、双指张合和双指旋转^[11-12]。

2.2 手机交互操作性能感知要素集合

根据 10 个交互操作任务和 7 个交互操作手势,再结合 3 个交互操作性能整体感知要素,得到了 27 个性能感知要素,具体要素见表 1,并在每个感知要素下举一个具体的例子进行说明。

表 1 性能感知要素
Tab.1 The performance perception elements

	1.打开应用	2.应用内功能进入	3.呼出	4.同级功能切换	5.输入显示交互	6.应用内功能返回	7.关闭应用	8.移动图片/图标等	9.放大缩小旋转图片/文本等	10.滑动连续页面
点击	A: - B: 点击图片打开应用,打开首页的响应时间 C: 点击图片,打开首页的动画流畅性	A: - B: 点击操作选项,跳转到下级页面的响应时间 C: 点击操作选项,跳转到下级页面的动画流畅性	A: - B: 点击操作选项,在当前页面弹出信息框的响应时间 C: 点击操作选项,在当前页面弹出信息框的动画流畅性	A: - B: 点击同级操作选项,切换到相应页面的响应时间 C: -	A: - B: 点击要输入内容,显示输入内容的响应时间 C: -	A: - B: 点击返回键,跳转到上级页面的响应时间 C: 点击返回键,跳转到上级页面的动画流畅性	A: - B: 点击HOME键,从当前页面退回到手机桌面的响应时间 C: 点击HOME键,从当前页面退回到手机桌面的动画流畅性	-	-	-
双击	-	-	-	-	-	-	-	A: - B: 双击图片,图片响应的响应时间 C: 双击图片,图片缩放的动画流畅性	-	
长按	-	-	-	-	-	-	-	A: - B: -(在用户感知中响应及时性被长按的性质弱化) C: -	-	
快滑	-	-	A: - B: 滑动拉出任务栏的响应时间 C: 滑动拉出任务栏的动画流畅性	A: - B: 左右滑动切换页面的响应时间 C: 左右滑动切换页面的动画流畅性	-	A: - B: 滑动返回上级页面的响应时间 C: 滑动返回上级页面的动画流畅性	-	-	A: - B: 上下滑动连续页面的响应时间 C: 上下滑动连续页面的流畅性	
拖动	-	-	-	-	A: 手写输入时,拖动线条的跟手性 B: - C: -	-	-	A: 拖动图标等的跟手性 B: - C: -	-	

续表 1

	1.打开应用	2.应用内功能进入	3.呼出	4.同级功能切换	5.输入显示交互	6.应用内功能返回	7.关闭应用	8.移动图片/图标等	9.放大缩小旋转图片/文本等	10.滑动连续页面
双指张合	-	-	-	-	-	-	-	-	A: 手指张合, 图片缩放的跟手性 B: - C: -	-
双指旋转	-	-	-	-	-	-	-	-	A: 双指旋转图片时的跟手性 B: - C: -	-

注：A 为跟手性性能感知要素；B 为响应及时性性能感知要素；C 为流畅性性能感知要素

性能感知要素的整合和筛选采用了德尔菲法 (Delphi Method) [13]。通过咨询 15 位手机交互领域专家，经几轮征询和反馈将 27 个感知要素整合为 21 个，见表 2。最后形成了性能感知要素集合，见图 2。

表 2 性能感知要素归纳
Tab.2 The induction of performance perception elements

跟手性性能感知要素	跟手性性能感知要素归纳	响应及时性性能感知要素	响应及时性性能感知要素归纳	流畅性性能感知要素	流畅性性能感知要素归纳
拖动跟手性 (拖动)	拖动跟手性	打开应用响应时间 (点击)	打开应用响应时间	打开应用流畅性 (点击)	打开应用流畅性
缩放跟手性 (拖动)	缩放跟手性	关闭应用响应时间 (点击)	关闭应用响应时间	关闭应用流畅性 (点击)	关闭应用流畅性
旋转跟手性 (拖动)	旋转跟手性	功能进入响应时间 (点击)	进入页面响应时间	功能进入流畅性 (点击)	进入页面流畅性
输入显示交互跟手性 (拖动)	输入跟手性	点击返回响应时间 (点击)	返回页面响应时间	点击返回流畅性 (点击)	返回页面流畅性
		滑动返回响应时间 (滑动)		滑动返回流畅性 (滑动)	
		点击呼出响应时间 (点击)	呼出响应时间	点击呼出流畅性 (点击)	呼出流畅性
		滑动呼出响应时间 (滑动)		滑动呼出流畅性 (滑动)	
		输入显示交互响应时间 (点击)	输入响应时间		
		同级功能切换响应时间 (点击)	切换响应时间	滑动切换流畅性 (滑动)	滑动切换流畅性
		同级功能切换响应时间 (滑动)			
页面滑动响应时间 (滑动)	页面滑动响应时间	页面滑动流畅性 (滑动)	页面滑动流畅性		
缩放响应时间 (双击)	双击缩放响应时间	缩放流畅性 (双击)	双击缩放流畅性		

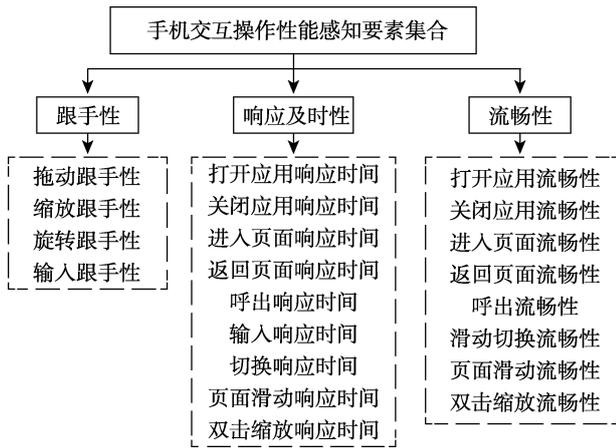


图2 性能感知要素集合

Fig.2 The aggregate of performance perception elements

手机交互操作性能感知要素集合涵盖了 21 个感知要素,其中跟手性性能感知要素包括:拖动跟手性、缩放跟手性、旋转跟手性和输入跟手性;响应及时性性能感知要素包括:打开应用响应时间、关闭应用响应时间、进入页面响应时间、返回页面响应时间、呼出响应时间、输入响应时间、切换响应时间、页面滑动响应时间以及双击缩放响应时间;流畅性性能感知要素包括:打开应用流畅性、关闭应用流畅性、进入页面流畅性、返回页面流畅性、呼出流畅性、滑动切换流畅性、页面滑动流畅性以及双击缩放流畅性。

3 面向高敏感用户的手机交互操作性能感知要素集合的权重研究

3.1 高敏感用户

通过桌面研究制作了《手机交互操作性能用户体验测评问卷》,包括基础信息部分和《高敏感用户筛选量表》。《高敏感用户筛选量表》包含:《用户对手机交互操作性能关注度评测量表》以及《用户对当前

使用手机的满意度评测量表》。需要用户对《量表》中每道题语句的赞同程度进行打分,赞同程度分为 5 个级别:非常不赞同、不赞同、一般、赞同、非常赞同,分别对应 1、2、3、4、5 分,两个《量表》共计 16 题 80 分,筛选得分在前 1/5 的用户为高敏感用户。

总共获得网络问卷 368 份,有效问卷 344 份,无效问卷 24 份。男性 166 人,女性 178 人,男女比例基本一致。高敏感用户共有 69 人,根据用户使用手机的型号和价位,剔除使用低端手机的用户 9 人,获得高敏感用户 60 人,占用户总数的 17.4%。通过问卷数据分析发现,高敏感人群使用 iOS 系统的人数稍多,平均每天使用手机的时间在 4 h 以上,半年至 1 年的时间内会更换一次手机。

通过问卷总结得出,手机交互操作性能高敏感用户通常是中高端手机的使用者,并具有相当长时间的手机使用历史。高敏感用户对手机的各项操作很熟悉,经常主动寻求更快捷方便的交互操作方式,他们在手机使用中主要关注手机交互操作的表现是否令其满意,对手机交互操作性能有着较严格的要求。

3.2 手机交互操作性能感知要素集合的权重分析

将 AHP (层次分析法)应用于手机交互操作要素的权重分析,主要包括 3 个流程:高敏感用户构造判断矩阵、权重值计算和一致性检验^[4]。

3.2.1 一级指标权重的确定

基于层次分析法,本研究对手机交互操作性能感知要素进行了分级,形成了包含 3 个层级 21 个具体要素的体系,见图 3。

1) 高敏感用户构造判断矩阵。运用层次分析法设计手机交互操作性能感知要素的重要程度调查问卷,问卷对一级要素、二级要素分别进行两两比较,以求得各要素之间的相对权重。问卷以 1、3、5、7、9 为重要程度判断赋值,分别对应的重要性尺度为同

A手机交互操作性能感知要素			目标层
A1跟手性	A2响应及时性	A3流畅性	一级要素
A11拖动跟手性	A21打开应用响应时间	A31打开应用流畅性	二级要素
A12缩放跟手性	A22关闭应用响应时间	A32关闭应用流畅性	
A13旋转跟手性	A23进入页面响应时间	A33进入页面流畅性	
A14输入跟手性	A24返回页面响应时间	A34返回页面流畅性	
	A25呼出响应时间	A35呼出流畅性	
	A26输入响应时间	A36滑动切换流畅性	
	A27切换响应时间	A37页面滑动流畅性	
	A28页面滑动响应时间	A38双击缩放流畅性	
	A29双击缩放响应时间		

图3 手机交互操作性能感知要素递阶层次结构

Fig.3 The hierarchical structure of performance perception elements of smartphone interaction

等重要、稍微重要、较强重要、强烈重要、极端重要。2、4、6、8 则为相邻尺度的中间值。组织 30 位高敏感用户，每组 6~10 人，分为 4 组，以组为单位进行焦点小组。首先，主持人对每个感知要素进行讲解，同时让用户使用手机进行操作体验并填写问卷，在问卷填写完之后组织用户讨论发表自己的看法，记录员和摄像机记录讨论过程用作之后的分析。然后将 30 位高敏感用户的判断矩阵采用几何平均法进行综合，得出综合判断矩阵。在判断矩阵中：

$$A = [a_{ij}]n \cdot n \quad (1)$$

其中： a_{ij} 为 a_i 与 a_j 相对重要性的比例标度； n 为要素形态的数目，该矩阵具有 $a_{ij} > 0$ ， $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ ， $a_{ii} = 1$ 的性质。一级要素判断矩阵见表 3。

表 3 一级要素判断矩阵
Tab.3 The judgment matrix of primary elements

A	A1	A2	A3
A1	1	1/2	1/2
A2	2	1	2
A3	2	1/2	1

2) 权重值计算。若取权重向量 $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ ，则有： $AW = \lambda W$ ， λ 是 A 的最大正特征根，则 W 是 A 的对应于 λ 的特征向量，从而转化为最大特

征值 \max 和它所对应的特征向量，这样就得出了相对权重。

3) 一致性检验。得到权重分配之后对判断矩阵进行一致性检验，验证要素之间是否矛盾冲突，计算一致性指标： $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ ，当随机一致性比率 $CR = \frac{CI}{RI}$ ，可接受的判断矩阵的一致性为 $CR < 0.1$ ，否则当 $CR \geq 0.10$ 时，则需要对矩阵进行调整。本判断矩阵一致性检验： $CR = 0.0515 < 0.1$ 。由以上 CR 计算可知，判断矩阵具有满意的一致性，最后确定的一级要素权重见表 4。

表 4 一级要素权重
Tab.4 The weight of primary elements

一级要素	权重值
跟手性	0.196
响应及时性	0.493
流畅性	0.311

3.2.2 手机交互操作性能感知要素集合权重结果

二级要素权重算法同上，计算二级要素权重与一级要素权重的乘积，分别求出手机交互操作性能 21 个感知要素的综合权重，结果见表 5。

表 5 手机交互操作性能感知要素的权重
Tab.5 The weight of performance perception elements of smartphone interaction

目标层	一级要素	一级要素权重	二级要素	二级要素权重	二级要素综合权重	综合权重排序
A 手机交互操作性能要素	A1 跟手性	0.196	A11 拖动跟手性	0.556	0.109	3
			A12 缩放跟手性	0.26	0.051	9
			A13 旋转跟手性	0.121	0.024	13
			A14 输入跟手性	0.063	0.012	18
	A2 响应及时性	0.493	A21 打开应用响应时间	0.247	0.122	1
			A22 关闭应用响应时间	0.022	0.011	19
			A23 进入页面响应时间	0.183	0.09	4
			A24 返回页面响应时间	0.041	0.02	16
			A25 呼出响应时间	0.097	0.048	10
			A26 输入响应时间	0.137	0.068	5
			A27 同级切换响应时间	0.121	0.06	7
			A28 页面滑动响应时间	0.111	0.054	8
			A29 双击缩放响应时间	0.041	0.02	15
	A3 流畅性	0.311	A31 打开应用流畅性	0.129	0.04	11
			A32 关闭应用流畅性	0.032	0.01	20
			A33 进入页面流畅性	0.07	0.022	14
			A34 返回页面流畅性	0.042	0.013	17
			A35 呼出流畅性	0.119	0.037	12
A36 滑动切换流畅性			0.206	0.064	6	
A37 页面滑动流畅性			0.373	0.116	2	
A38 双击缩放流畅性			0.029	0.009	21	

从表5的统计数据中可以看出,手机交互操作性能感知要素的综合权重从高到低依次为:打开应用响应时间、页面滑动流畅性、拖动跟手性、进入页面响应时间、输入响应时间、滑动切换流畅性、同级切换响应时间、页面滑动响应时间、缩放跟手性、呼出响应时间、打开应用流畅性、呼出流畅性、旋转跟手性、进入页面流畅性、双击缩放响应时间、返回页面响应时间、返回页面流畅性、输入跟手性、关闭应用响应时间、关闭应用流畅性、双击缩放流畅性。

通过分析感知要素的权重和焦点小组得出以下结论。

1) 从整体感知要素上,响应及时性用户感知的重要程度大于流畅性、跟手性。说明开发人员设计时应注意,根据重要程度权衡开发的优先级,在本文中,交互操作的动画流畅性虽然重要,但是响应及时性更重要。比如说,在系统开发和APP设计时可以通过丢弃一些帧来获得更快的响应速度,更好地满足用户的需求。

2) 在响应及时性中,权重值的排序:打开应用响应时间>进入页面响应时间>返回页面响应时间>关闭应用响应时间。在流畅性中,权重值的排序:打开应用流畅性>进入页面流畅性>返回页面流畅性>关闭应用流畅性。打开应用的任务相比进入、返回、关闭更重要,所以可以按照这个排序确定优化的优先级。

3) 跟手性虽然整体上的重要性比响应及时性和流畅性低,但是跟手性中的拖动跟手性权重的排序是第三位。通过分析高敏感用户的原话发现,输入跟手性权重排名靠后是因为用户很少使用手写输入法,而是使用键盘输入法,对于键盘输入法来说响应及时性更重要,所以输入响应时间的权重排名靠前。高敏感用户以年轻人为主,而使用手写输入法的大多数人是中老年人,但是如果在开发面向老年人的手机时,输入跟手性的重要性就会提升。

这一部分通过层次分析法确定了21个手机交互操作性能感知要素的权重,以及在手机交互操作性能优化方面提出了相关建议,但并未探究每个感知要素下能带来“好的”用户体验的精准时序或者帧数等需求,以后可以继续对此方向进行研究。

4 结语

本文得到了由21个性能感知要素组成的手机交互操作性能感知要素评价体系,并运用层次分析法求出了感知要素的权重值,为研发机构针对用户重视的感知要素,合理分配资源,对其相关的手机软硬件优化提供了参考方向,以此更好地满足用户的需求。

在接下来的研究中,将会利用这篇文章得出的具体感知要素,进行手机交互操作跟手性、响应性、流畅性的感知实验。并结合生理趋势变化、眼动变化,

来对手机交互操作性能感知MOS评级分数进行辅助的可靠性验证。再通过多元线性回归建立每个整体感知要素下的数据模型及方程,并结合每个感知要素的权重,最终得出评价手机交互操作性能感知的总体模型。

参考文献:

- [1] 张凤军. 基于智能手机的三维交互技术研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(1): 16—25.
ZHANG Feng-jun. Research on Three-dimensional Interaction Technique for Smartphone[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2013, 25(1): 16—25.
- [2] 朱建春. 基于用户分析的触屏手机交互设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(12): 239—243.
ZHU Jian-chun. Interaction Design of Touch-screen Phone Based on the User Analysis[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(12): 239—243.
- [3] 苗秀, 韩冬楠, 王腾. 交互性在提升电商网站用户忠诚中的应用策略分析[J]. 包装工程, 2016, 37(12): 143—148.
MIAO Xiu, HAN Dong-nan, WANG Teng. Application Strategy Analysis of Interactivity in Promoting E-commerce Website User Loyalty[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(12): 143—148.
- [4] 黄本亮. 触屏手机界面视线流与操作流的设计关系[J]. 包装工程, 2017, 38(4): 66—69.
HUANG Ben-liang. Design Relationships between Sight Flow and Operation Flow in Touch Screen Cell Phone Interface[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(4): 66—69.
- [5] LI Xiao-Feng, WANG Yong, WU Jackie, et al. Mobile OS Architecture Trends[J]. Intel Technology Journal, 2012, 4(16): 178—198.
- [6] 左亚敏. 基于多点触控的桌面文档操作交互的设计与研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2014.
ZUO Ya-min. Design and Research of Desktop Document Operation Interaction Based on Multi-touch Technology[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2014.
- [7] 李建伟. 智能手机用户体验测评系统研究与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
LI Jian-wei. Evaluation System Research and Implementation of the Smartphone User Experience[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2014.
- [8] 初辰辉, 王锋, 田丰, 等. 基于触摸设备手指滑动的方向可用性探究 [C]. 广州: 和谐人机环境联合学术会议, 2012.
CHU Chen-hui, WANG Feng, TIAN Feng, et al. Usability of Finger Sliding Direction Based on Touching Device[C]. Guangzhou: Harmonious Man-machine Envi-

- ronment Joint Academic Conference, 2012.
- [9] 王莉. 手机触摸屏触控传感电路印制[J]. 丝网印刷, 2017, 7(7): 17—20.
WANG Li. Touch Sensing Circuit Printing in Phone Touch Panel[J]. Screen Printing, 2017, 7(7): 17—20.
- [10] 吴金铎, 李宏汀, 王春慧, 等. 基于中老年用户的移动设备触摸屏手势操作可用性研究[J]. 人类工效学, 2016, 22(2): 12—20.
WU Jin-duo, LI Hong-ting, WANG Chun-hui, et al. Usability of Touch-based Gestures for Middle-aged and Elderly People on Touch Screen Mobile Devices[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2016, 22(2): 12—20.
- [11] 王鸿. 基于用户体验的触屏手势设计研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
WANG Hong. TouchingScreen Gesture Design Based on User Experience[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2012.
- [12] 梁磊磊. 基于触屏手机的单手手势交互设计浅析[J]. 工业设计, 2017(3): 95—96.
LIANG Lei-lei. Analysis of Single Hand Gesture Interaction Design Based on Touch Screen Mobile Phone[J]. Industrial Design, 2017(3): 95—96.
- [13] DALKEYN, HELMERO. An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts[J]. Management Science, 1963, 9(3): 458—467.
- [14] CHANG C S. Multi-Level Grey Relation Comprehensive Evaluation Method for Universal Design[J]. Journal of Grey System, 2014, 17(4): 229—238.