

多感官交互通道对智能家庭影音产品的 可用性体验影响研究

陈韶晗¹, 严世华²

(1. 桂林理工大学 艺术学院, 广西 桂林 541006; 2. 马来西亚博特拉大学, 吉隆坡 43400, 马来西亚)

摘要: **目的** 基于可用性体验, 探究智能家庭影音产品中的多感官交互通道适配组合。**方法** 首先通过文献研究归纳整理智能家庭影音产品中不同感官交互通道的优势和局限性; 其次采用问卷调查法获取实证研究数据, 并使用探索性因子分析测试问卷信效度; 最后利用基于复杂性理论的模糊集定性比较分析法(fsQCA)识别智能家庭影音产品中的多感官交互通道适配组合。**结果** 存在5种适配组合支持高可用性体验; 存在2种组合导致低可用性体验。**结论** 导致低可用性体验的组合反映了单一感官交互通道的固有局限性; 支持高可用性体验的组合反映了多感官交互通道组合的互补性; 两类组合的发现表明多感官交互通道的适配组合, 有助于改善智能家庭影音产品的可用性体验。未来研究可以基于这些发现来调查多感官交互通道适配组合, 对不同用户人口统计和背景的不同影响。这将有助于拓宽多感官交互通道及其对可用性体验影响的深入理解。

关键词: 多感官交互通道; 智能家庭影音产品; 复杂性理论; 可用性体验

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)16-0471-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.16.053

Effect of Multisensory Interaction Channels on Usability Experiences in Smart Home Audio-visual Products

CHEN Shao-han¹, YAN Shi-hua²

(1. School of Art, Guilin University of Technology, Guangxi Guilin 541006, China;

2. University Putra Malaysia, Kuala Lumpur 43400, Malaysia)

ABSTRACT: The work aims to explore the adaptive configuration of multisensory interaction channels in smart home audio-visual products based on the usability experience. Firstly, the advantages and limitations of different sensory interaction channels in smart home audio-visual products were summarized through literature research. Secondly, the questionnaire survey method was used to obtain empirical research data, and the reliability and validity of the questionnaire were tested by exploratory factor analysis. Finally, the fuzzy set qualitative comparative analysis method (fsQCA) based on complexity theory was used to identify the adaptive configuration of multisensory interaction channels in smart home audio-visual products. There were 5 adaptive configurations to support the high-usability experience, while there were 2 configurations leading to the low-usability experience. Configurations that lead to low-usability experience reflect the inherent limitations of single-sensory interaction channels. Configurations that support high-usability experience reflect the complementarity of multisensory interaction channel configuration. The findings of the two types of configurations suggest that the adaptive configuration of multisensory interaction channels can contribute to improving the usability experience of smart home audio-visual products. Future research based on these findings can be used to investigate the different effects of the adaptive configurations of multisensory interaction channels on different user demographics and backgrounds.

收稿日期: 2023-03-26

基金项目: 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2023KY0244)

作者简介: 陈韶晗(1991—), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为可持续设计、交互设计。

This will help broaden the understanding of multisensory interaction channels and their impact on usability experience.

KEY WORDS: multisensory interaction channel; smart home audio-visual products; complexity theory; usability experience

如今,智能产品的多样性促使多通道交互成为人机交互领域反复出现的研究主题^[1]。许多学者认为多通道交互旨在设计适配的感官交互通道组合,以在特定环境下为用户提供高可用性体验^[2,3]。尽管如此,先前的大多数研究仅独立关注 1 种或 2 种感官通道,然后在应用层面进行连接,而对于特定环境下的感官交互通道组合却鲜有关注^[3-4]。明确特定环境下感官交互通道的组合对改善智能产品的可用性体验既有理论意义也有现实意义。一方面,在智能产品中,不合理的交互通道组合存在导致系统效率降低的风险,即一种感官通道会影响另一种感官通道的可用性^[3],例如,手机的响铃会打断用户语音信息的输入。另一方面,物联网的发展为相同或不同类别的智能产品协同作用提供了机会。用户如何与相同或不同类别的智能产品交互并获得良好的产品使用体验,值得关注。因此,本文从可用性体验角度出发,以智能家庭影音产品为载体,通过复杂性理论,探索不同感官交互通道的适配组合,为改善智能家庭影音产品的可用性体验提供建议性理论参考。

1 理论背景

1.1 智能家庭影音产品与可用性体验

智能家庭影音产品是一款集成了触摸显示屏、无线音箱和多种传感器设备,并通过智能技术连接的系统性产品。用户可以通过自然交流指令要求它播放视频、音乐、播报天气、设置闹钟、控制智能家居设备等。智能家庭影音产品作为智能家居的控制中心,允许外接设备嵌入并协同作用,使用户在智能家庭影音产品中网购、外卖、叫车、与朋友交流等得以实现。Liu 等^[5]认为,智能家庭影音产品的作用已从简单地提供娱乐,扩展到提供多种功能和服务的综合生态系统,从而提高了便利性和整体生活质量。Gaouar 等^[1]通过实证研究指出,智能家庭影音产品的成功普及,一个关键驱动因素为可用性体验。

根据 ISO 9241-11^[6]的定义,可用性包括在特定使用环境下的有效性、效率和满意度。关于可用性的广泛研究已经证明了它在用户接受和持续使用技术产品方面的重要性^[2]。在智能家庭影音产品的背景下,朱吉虹等^[7]得出结论,诸如可学习性、有效性和满意度等可用性属性对于塑造用户的认知和接受度至关重要。

1.2 感官通道及其优势与局限性

在人机交互领域,通道被定义为信息传输的特定路径;人类主要通过视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉

五种主要感官与环境交互,因此,多感官交互通道是指通过多种感官接收与传递信息,以支持与周围环境的彼此互动^[8]。在智能家庭影音产品中,视觉、听觉和触觉作为传统感官通道已被广泛应用,在某些情况下还包括嗅觉。此外,与传统感官通道不同的动态交互通道也在智能家庭影音产品中发挥了重要作用。Azofeifa 等^[2]通过文献回顾表明,多感官通道在智能家庭影音产品中的应用,有助于促进用户和产品之间进行更丰富、直观和身临其境的交互。

视觉是人机交互中信息传输最活跃的感官通道。在智能家庭影音产品中,视觉通道主要用于接收产品的信息输入或反馈,例如产品屏幕显示的文本、图像和视频等。Chiossi 等^[4]基于案例研究指出,视觉通道对呈现详细和复杂的信息特别有效,然而,视觉通道的过分依赖会导致认知超载(尤其是在多任务处理情况下)。听觉通道提供了另一个关键的交互途径。它既可以提供直接交互功能,如允许用户发出语音命令;也可以提供间接交互功能,即提供听觉反馈以响应用户操作^[8],为各种智能家庭影音产品提供了直观的控制机制。触觉是人体与物理实体互动的双向感知通道。王韞等^[9]认为,无论是从设备纹理和按钮阻力的微妙之处到更复杂的反馈机制,用户与产品的触觉交互可以显著丰富用户体验。尽管嗅觉与味觉是人类与生俱来的基本感官,但在家庭影音产品中实现却非常具有挑战性。它们的理论概念是产品系统通过嗅觉、味觉为用户提供信息。目前,味觉交互是相关研究者正在攻克的主题。与之相反的是,杨文珍等^[10]研发了一种气味输出装置,可在 VR 环境中提升用户视、嗅觉交互方式的可用性。这项研究为嗅觉交互在智能家庭影音产品中的应用提供了可能性。

包含动作和手势的动态交互在本质上不同于传统的感官通道。传统的感官通道涉及由特定人类感官接收和处理的直接感觉刺激,而动态交互需要用户生成动作,然后由设备或系统进行解释。这一过程涉及复杂的神经肌肉反馈回路,而不是特定的感官^[1-2]。尽管如此,先前研究普遍认为,动态交互是智能家庭影音产品的重要组成部分。例如 Ardito 等^[11]通过多案例比较验证了,动态交互有助于用户与智能家庭影音产品的自然直观互动,以增强产品的整体可用性体验。

然而,每种感官交互通道都有其特定的优势和局限性^[3],在智能家庭影音产品的复杂应用场景中这些差异性会越发明显。因此,许多相关研究对感官交互通道进行了剖析。为了明确每种通道的优势和局限性,本研究对已发表的相关文献进行了系统性回顾。每种感官交互通道的优势和局限性,见表 1。

表 1 感官交互通道的优势和局限性
Tab.1 Advantages and limitations of sensory interaction channels

交互通道	优势	局限性	来源
视觉	1. 直观易懂	1. 依赖良好的照明条件	[1-2,4]
	2. 可以提供详细的信息	2. 不适合视障用户	
	3. 对用户操作进行即时反馈	3. 长时间使用会导致视觉疲劳	
听觉	1. 适用于多任务处理的情况	1. 与视觉通道相比，信息载量有限	[3,5,8]
	2. 适合传达时间和空间相关信息	2. 不适合有听力障碍的用户	
触觉	1. 适合视觉或听觉通道过载或不适用的情况	1. 触觉反馈机制的复杂性在许多设备中受到限制	[1-2,9]
	2. 显著增强用户体验	2. 传达复杂信息的效率较低	
动态	1. 提供自然直观的交互方式	1. 与其他感官交互相比，可能需要更多空间	[8,11]
	2. 促进沉浸式体验	2. 手势识别的准确性可能因设备和用户而异	
嗅觉	1. 引起强烈的情绪反应	1. 目前的技术应用受限	[10]
	2. 适用于环境感知	2. 难以控制气味的强度和扩散	

通道的优势和局限性隐含反映了不同感官交互通道之间的互补关系，以及在智能家庭影音产品的复杂应用场景中提升可用性体验的可能性。然而通道的适配组合尚不明确，因此，有必要进一步研究它们之间的关系，揭示感官交互通道的适配组合，以提升智能家庭影音产品的可用性体验。

1.3 复杂性理论

复杂性理论是一种因果逻辑理论，其通过条件变量的非线性组合来描述现实世界中一个事件或结果的发生成因^[12]。Urry^[13]就复杂性理论进行了全面的文献回顾，并提出了以下观点。第一，系统中存在一个临界阈值以定义结果的双向区间，例如，某项措施实施后所取得的重大成果或微小成果。该阈值在本研究中的映射可以体现为智能家庭影音产品提供给用户的高可用性体验和低可用性体验。第二，一个条件的存在与否并不能完全预测或否认一个结果。例如，一门科目的失利并不能代表失去了一流大学录取的可能性。因此，可能存在多条途径达成目标结果，即“殊途同归”。第三，复杂性理论假设相同条件之间的相互关系和配置会导致不同的结果。因此，导致高、低

可用性体验的，可能不仅是因为单一感官交互通道不理想，更可能是多感官交互通道的组合错误。因此，运用复杂性理论有助于从因果视角确定智能家庭影音产品中多感官交互通道的适配组合，以支持用户的高可用性体验。

2 实证研究方法

2.1 问卷编制与数据收集

本研究采用调查问卷获取实证数据。
问卷由两部分组成：第一部分为多感官交互通道的测量量表，其基于国内外相关工作的成熟量表编制。具体而言，视觉和听觉通道采用了 Nitidara 等^[14]提出的量表，并略作修改。触觉和动态通道参考了 Salomon 等^[15]提出的测量项。嗅觉通道使用了 Dmitrenko 等^[16]的测量项，并稍作编制。可用性体验参照了 Liu 等^[5]提出的量表，并略作修改。一共为 24 个测量项。每个测量项均采用 5 级李克特量表打分的方法来评估，其中“1”到“5”分别代表“非常不同意”至“非常同意”。具体测量问题，见表 2。

表 2 测量题项
Tab.2 Measurement items

变量	测量维度	测量项	来源
视觉（VC）	清晰度	VC 1 设备上的视觉信息清晰易懂	[4,14]
	信息密度	VC 2 设备显示的信息量很合适	
	图像学	VC 3 设备上的视觉元素始终保持一致	
	审美	VC 4 设备在视觉元素上的设计令人愉悦	
	AR/VR 元素	VC 5 设备高质量的呈现了 AR/VR 元素	
听觉（AC）	控制	AC 1 我可以轻松地控制和调整音量	[2,14]
	有效性	AC 2 语音交互，包括语音命令和反馈是清晰且高质量的	
	差异化	AC 3 不同的声音，如警报和反馈是截然不同的很容易识别	

续表 2

变量	测量维度	测量项	来源
触觉 (TC)	触觉反馈质量	TC 1 设备的触觉反馈是明显的, 有帮助的	[2,15]
	质地和形式	TC 2 设备组件的质地和形式舒适且易于使用	
	触觉响应一致性	TC 3 在使用设备的整个过程中, 触觉反馈都是一致的	
动态 (DC)	手势识别	DC 1 设备准确地识别了我的手势指令	[11,15]
	动作响应	DC 2 设备能迅速对我的动作做出反应	
	复杂度	DC 3 与设备交互所需的动作很简单	
	空间要求	DC 4 与设备交互无需占用太大的空间	
	舒适度	DC 5 对交互所需的动作感到舒服, 并且不会随着时间的推移而感到疲劳	
嗅觉 (OC)	嗅觉反馈	OC 1 设备提供了独特的香气反馈	[16]
	气味区分	OC 2 设备可以产生不同的香气	
	强度控制	OC 3 可以控制设备产生香气的强弱程度	
可用性体验 (UE)	用户满意度	UE 1 对使用设备的体验感到满意	[3,5]
	感知有用性	UE 2 设备或设备上的某些功能作用很大	
	感知易用性	UE 3 发现学习和理解如何使用设备很容易	
	任务完成效率	UE 4 可以在设备上快速完成任务	
	控制感知	UE 5 在使用设备时感觉一切尽在掌握	

问卷第二部分为受访者的入口学特征统计, 包括性别、年龄、受教育程度、对多感官交互通道的了解程度及对目前智能家庭影音产品的满意度等。

问卷通过微信在线发放, 受访人群为使用过或对智能家庭影音产品感兴趣的用用户。问卷共发放 400 份, 剔除无效量表 33 份后, 最终回收 367 份, 有效率为 91%。

2.2 分析方法

数据分析方法采用了探索性因子分析和基于复杂性理论的模糊集定性比较分析 (fsQCA)。

探索性因子分析常用于检验量表设计的合理性, 即信效度检验。首先, 采用 KMO 和 Bartlett 球形检验来确定所设计的量表是否满足因子分析的条件; 其次, 采用主成分分析, 判别测量项对构造的解释程度; 最后, 通过最大方差转轴进行正交旋转, 得到各测量项的因子载荷系数与旋转成分矩阵, 以检验量表的结构效度^[17]。

fsQCA 是一种基于复杂性理论, 以组合为导向的分析方法, 试图解释促成事件发生的条件及条件组合。fsQCA 的实施步骤如下: 第一, 数据校准, 计算每个变量的平均值, 并将其转化为模糊集; 第二, 真值表生成, 通过频率和一致性阈值进行案例排序; 第三, 结果解释, 使用中间解对结果进行综合描述^[18]。

3 实证研究结果

3.1 入口学特征统计结果

受访者的入口学特征统计结果显示, 受访者的男女比例较为均衡, 男性为 187 人, 占比 51.0%; 女性为 180 人, 占比 49.0%。从年龄分布上看, 26~35 岁

年龄组的受访者占比最高, 为 28.3%; 其次为 46~55 岁年龄组和 36~45 岁年龄组, 分别占比 27.5%和 24.0%。大部分受访者拥有研究生和本科学历, 而高中次之, 分别占比 29.7%、26.2%和 22.3%。他们对多感官交互通道的了解程度呈现均匀分布, 其中, 27.2%的受访者表示了解; 26.7%的受访者表示不了解; 24.5%的受访者表示一知半解; 而表示非常了解的受访者人数仅占比 12.5%。对目前智能家庭影音产品的满意度, 115 名受访者持一般满意度, 占比最高, 为 31.3%; 持不满意和很满意态度的受访者有着相似的数额, 占比分别为 25.6%和 25.1%; 然而, 仅 28 人对目前的智能家庭影音产品非常满意, 占比 7.6%。具体结果, 见表 3。

3.2 信效度检验

本研究使用 SPSS 26.0 软件对问卷量表进行信效度检验。克隆巴赫系数 (Cronbach alpha) 是检验信度的合理性指标, 而 KMO 和 Bartlett 球形值、方差解释率及因子载荷系数等是衡量效度的有效指标^[17]。在检验结果中, 首先, 6 个构造所对应的 Cronbach alpha 值均大于 0.8, 表明量表的内部一致性可靠; 其次, KMO 值为 0.866, 大于 0.7, 且在 Bartlett 球形检验中, 近似卡方值为 276, 显著性概率为 0.000, 从而拒绝 Bartlett 球形检验的零假设, 因此, 研究数据符合进行因子分析的标准; 再次, 旋转后累积方差解释率为 72.837%, 大于 60%, 表明测量题项对构造的对应解释程度较高; 最后, 进一步采用最大方差转轴法进行因子载荷正交旋转, 得到的因子载荷系数绝对值均大于 0.4, 且对应的共同度均大于 0.5。各项检验结果表明, 建立的研究量表具有较好的信效度, 见表 4。

表 3 受访者人口学特征统计结果 (N=367)

Tab.3 Statistical results of demography information of respondents (N=367)

特征属性	类别	频数	百分比/%	特征属性	类别	频数	百分比/%
性别	男	187	51.0	多感官交互通道的了解程度	非常不了解	33	9.0
	女	180	49.0		不了解	98	26.7
年龄	18~25	36	9.8		一般	90	24.5
	26~35	104	28.3		了解	100	27.2
	36~45	88	24.0		非常了解	46	12.5
	46~55	101	27.5	对智能家庭影音产品的满意度	非常不满意	38	10.4
	56	38	10.4		不满意	94	25.6
教育水平	初中及以下	44	12.0		一般	115	31.3
	高中	82	22.3		很满意	92	25.1
	大学	96	26.2		非常满意	28	7.6
	硕士	109	29.7				
	博士及以上	36	9.8				

表 4 信效度检验

Tab.4 Reliability and validity test

变量	测量项	因子载荷系数						共同度	Cronbach alpha
		1	2	3	4	5	6		
视觉 (VC)	VC 1	0.126	0.803	0.121	-0.008	0.102	0.003	0.686	0.894
	VC 2	0.109	0.830	0.040	0.090	0.018	0.001	0.711	
	VC 3	0.179	0.786	0.125	0.056	0.183	0.044	0.704	
	VC 4	0.104	0.819	0.145	0.011	0.105	0.003	0.714	
	VC 5	0.121	0.821	0.126	0.039	0.175	0.009	0.737	
听觉 (AC)	AC 1	0.045	0.011	0.109	0.018	-0.005	0.878	0.785	0.816
	AC 2	0.054	0.059	0.164	0.071	-0.052	0.847	0.758	
	AC 3	0.026	-0.036	0.286	0.103	0.045	0.764	0.680	
触觉 (TC)	TC 1	0.074	0.172	0.092	0.016	0.842	-0.008	0.753	0.827
	TC 2	0.092	0.126	0.123	0.073	0.844	-0.013	0.758	
	TC 3	0.118	0.172	0.053	0.054	0.817	0.005	0.717	
动态 (DC)	DC 1	0.848	0.129	0.135	-0.002	0.010	0.022	0.754	0.911
	DC 2	0.855	0.147	0.066	0.030	0.087	0.058	0.770	
	DC 3	0.847	0.079	0.070	-0.026	0.093	0.047	0.740	
	DC 4	0.822	0.139	0.103	0.005	0.044	0.025	0.709	
	DC 5	0.836	0.128	0.069	-0.016	0.107	0.003	0.732	
嗅觉 (OC)	OC 1	0.023	0.053	0.084	0.855	0.080	0.125	0.764	0.840
	OC 2	0.015	0.056	0.081	0.883	0.016	0.037	0.791	
	OC 3	-0.049	0.041	0.047	0.849	0.042	0.019	0.729	
可用性体验 (UE)	UE 1	0.091	0.137	0.780	0.009	0.077	0.174	0.672	0.890
	UE 2	0.054	0.131	0.819	0.013	0.109	0.117	0.716	
	UE 3	0.067	0.127	0.787	0.054	0.059	0.108	0.658	
	UE 4	0.095	0.075	0.815	0.119	0.026	0.133	0.712	
	UE 5	0.142	0.081	0.832	0.067	0.055	0.084	0.733	
特征根值 (旋转前)		6.263	3.205	2.642	2.080	1.765	1.526	-	
方差解释率% (旋转前)		26.095	13.352	11.009	8.665	7.356	6.359	-	
累积方差解释率% (旋转前)		26.095	39.448	50.457	59.122	66.478	72.837	-	
特征根值 (旋转后)		3.710	3.529	3.529	2.292	2.243	2.178	-	
方差解释率% (旋转后)		15.457	14.703	14.702	9.551	9.348	9.076	-	
累积方差解释率% (旋转后)		15.457	30.161	44.863	54.414	63.762	72.837	-	
KMO 值				0.866				-	
Bartlett 球形值				4 704.069				-	
df				276				-	
P 值				0.000				-	

3.3 校准与单通道必要性检验

fsQCA 分析采用 fsQCA 3.0 软件执行。计算每个构造的平均值后,根据 Russo 等^[18]提出的 95%、50%和 5%隶属度量表校准法,将数据校准为 0 到 1 之间的模糊数值,并对恰好 50%的数值添加 0.001,以确保分析时案例不会因处于交叉点而删除。

由于 fsQCA 方法是基于复杂性理论的因果逻辑概念,因此本研究将可用性体验作为结果,每个单一通道作为条件,以分析某个单一通道是否是影响结果发生的必要或充分条件。一致性是判别结果有效的可靠指标,当一致性等于或大于 0.8 时,说明结果是有效的^[18]。在单一通道的必要或充分性检验中,除了视觉交互通道与听觉交互通道外,其余单一通道的一致性均未超过 0.8,这表明视觉交互通道与听觉交互通道作为条件可以引导高可用性体验的产生,视觉通道与听觉通道是高可用性体验产生的充分条件,见表 5。

表 5 必要性和充分性分析
Tab.5 Analysis of necessity and sufficiency

条件变量	高可用性体验		低可用性体验	
	一致性	覆盖率	一致性	覆盖率
视觉	0.806 569	0.808 680	0.787 858	0.547 384
~视觉	0.548 566	0.788 655	0.724 631	0.721 911
动态	0.796 153	0.802 248	0.798 862	0.557 818
~动态	0.561 178	0.801 043	0.716 796	0.709 022
触觉	0.717 663	0.841 919	0.717 987	0.583 681
~触觉	0.645 124	0.767 504	0.805 545	0.664 104
听觉	0.807 695	0.821 191	0.772 940	0.544 567
~听觉	0.552 053	0.778 201	0.746 206	0.728 917
嗅觉	0.718 221	0.804 102	0.754 554	0.585 399
~嗅觉	0.629 680	0.787 332	0.747 497	0.647 674

注:“~”意味着否定的高分条件,并不代表条件不存在,例如表格中的高、低可用性体验。

3.4 多感官交互通道的适配组合

完成必要或充分性检验后,需要构建可用性体验为结果的真值表,以分析多感官交互通道的适配组合。真值表的构建需要考虑频率、一致性和 PRI 三个阈值参数的设定。根据真值表设定一般规则^[19],本研究基于参数的自然断裂点,将一致性阈值设置为 0.95, PRI 阈值为 0.65,频率阈值为 3。Fiss^[19]认为对高分结果的逆向分析是验证结果稳健性的有效措施,因此,本文通过设置一致性阈值为 0.90, PRI 阈值为 0.45,频率阈值为 3,进一步分析了哪些感官交互通道组合会导致低可用性体验。最终结果的图形配置,见表 6。

fsQCA 结果显示了支持高可用性体验的 5 种多感官交互通道组合(组合 1-5),以及导致低可用性体验的 2 种多感官交互通道组合(组合 6-7)。两者的整体一致性分别为 0.890 913 和 0.869 49,且每一种组合的一致性都大于 0.8,这表明了结果的显著性。此外,两者的整体覆盖率分别为 0.751 601 和 0.570 783,说明组合 1 到 5 涵盖了 75%的高可用性体验案例,组合 6 到 7 涵盖了 57%的低可用性案例,这表明了结果具备较高的可解释性。

在支持高可用性体验的 5 种组合中,组合 1 表明,触觉交互通道与听觉交互通道的结合能够为用户提供高可用性体验。此外,当触觉交互通道与听觉交互通道作为核心条件存在,而嗅觉交互通道作为边缘条件存在时,能够辅助视觉交互通道的不足(组合 4)。组合 2 表明,视觉与听觉交互通道作为核心条件存在,且动态交互通道作为边缘条件时,可以有效支持高可用性体验。组合 3 显示,动态与听觉交互通道结合可以弥补触觉交互通道的缺陷。相似地,视觉与触觉交互通道的协同作用有助于辅助不合理的动态和嗅觉交互通道(组合 5)。比较 5 种组合发现,组合 2

表 6 引导高、低可用性体验的多感官交互通道组合
Tab.6 Configurations of multisensory interaction channel that lead to high- and low-usability experiences

条件变量	高可用性体验					低可用性体验		
	组合 1	组合 2	组合 3	组合 4	组合 5	组合 6a	组合 6b	组合 7
视觉		●		⊗	●	●		⊗
动态		●	●		⊗	⊗	⊗	⊗
触觉	●		⊗	●	●	⊗	⊗	●
听觉	●	●	●	●		⊗	⊗	
嗅觉				●	⊗		●	⊗
原始覆盖率	0.620 6	0.441 88	0.492 10	0.356 05	0.339 312	0.459 6	0.470 88	0.429 20
净覆盖率	0.090 0	0.028 52	0.043 44	0.008 77	0.014 254	0.036 9	0.048 20	0.062 99
一致性	0.921 3	0.952 67	0.935 18	0.942 09	0.949 82	0.901 5	0.910 01	0.902 73
整体覆盖率			0.751 601				0.570 783	
整体一致性			0.890 913				0.869 49	

注:●或●表示条件存在,⊗或⊗表示高分条件的否定,空白表示无论条件存在与否都不会影响结果,●或⊗表示核心条件,●或⊗表示边缘条件。

具有最高的一致性,为0.952 67,这表明组合2对高可用性体验的支持程度最为理想;而组合1具有最高的净覆盖率(0.090 0),表明组合1在智能家庭影音产品中的应用最为广泛。

在导致低可用性体验的组合中,组合6a及组合6b拥有相同的核心条件及不同的边缘条件,这说明当动态、触觉和听觉交互通道均不理想时必然会导致低可用性体验。组合7表明,即使产品具备优良的触觉交互,但当视觉与动态交互通道不理想时,用户很难获得高可用性体验。2种组合具有相似的一致性与净覆盖率,这表明2种组合导致低可用性体验的机率相同。

4 结语

本研究旨在探索智能家庭影音产品中不同感官交互通道的适配组合,以提升智能家庭影音产品的可用性体验。重点关注了视觉、听觉、触觉、嗅觉和动态交互通道。一方面通过基于复杂性理论的fsQCA方法,确定了提供高可用性体验的通道组合,导致低可用性体验的通道组合,以及在特定条件下部分感官通道的存在和缺失。

一方面,研究阐明了5种支持高可用性体验的感官交互通道组合。组合1为触觉和听觉交互通道的集成。这一结果与强调触觉和听觉反馈在增强用户与系统交互方面的现有文献产生了呼应^[1],表明在智能家庭影音产品中,即时反馈和沉浸感是可用性体验的重要组成部分。组合2集成了视觉、听觉和动态交互通道,其中,视觉和听觉交互通道作为核心条件,表明了它们是提供高可用性体验的直接驱动因素;而动态交互通道作为边缘条件,则表明当视觉和听觉交互存在时,引入手势或动作等动态交互,将显著影响可用性体验。这一结果与先前研究一致^[11,15]。组合3和5证明了感官交互通道之间的补偿效应。具体而言,动态和听觉交互可以弥补触觉交互的不足,视觉和触觉交互可以抵消动态和嗅觉交互的不足。这些发现与人机交互中的感官补偿概念一致,即一种交互方式可以补偿另一种交互方式的局限性,从而增强整体可用性体验^[2]。此外,嗅觉交互通道作为组合4中的边缘条件存在,反映了其在特定环境下具有促进可用性体验的潜力。当视觉交互受到干扰时,嗅觉可以辅助触觉和听觉交互提升可用性。这一发现支持了先前关于嗅觉刺激在人机交互中影响用户体验的假设^[16]。

另一方面,研究阐明了2种导致低可用性体验的感官交互通道组合。组合6a和6b具有相同的核心条件,即当缺乏动态、触觉和听觉交互通道时必然导致低可用性体验的产生。这一结果强调了仅依赖单一交互通道的固有局限性。相似的,组合7表明,当缺乏视觉、动态交互时,仅依靠触觉交互,无法满足高可

用性体验。这一结果指出了多感官交互通道适配组合的必要性。值得注意的是,鉴于组合1、4和5中触觉交互对高可用性体验的积极影响,组合7的发现也再次论证了多感官交互通道的复杂、非线性性质,以及是多感官交互通道组合而非单一的交互通道塑造了高可用性体验。

总而言之,本研究提供了在智能家庭影音产品中影响可用性体验的多感官交互通道组合。研究获得的见解可以为智能家庭影音产品设计提供理论基础,为改善智能家庭影音产品的可用性体验提供建议性参考。此外,未来的研究可以基于这些发现来调查多感官交互通道组合对不同用户人口统计和背景的不同影响。这将有助于拓宽多感官交互通道及其对可用性体验影响的深入理解。

参考文献:

- [1] GAOUAR L, BENAMAR A, LE GOAER O, et al. HCIDL: Human-Computer Interface Description Language for Multi-Target, Multimodal, Plastic User Interfaces[J]. Future Computing and Informatics Journal, 2018, 3(1): 110-130.
- [2] AZOFEIFA J D, NOGUEZ J, RUIZ S, et al. Systematic Review of Multimodal Human-Computer Interaction[J]. Informatics, 2022, 9(1): 1-13.
- [3] KONG J, ZHANG W Y, YU N, et al. Design of Human-Centric Adaptive Multimodal Interfaces[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2011, 69(12): 854-869.
- [4] CHIOSSI F, OU Chang-kun, MAYER S. Exploring Physiological Correlates of Visual Complexity Adaptation: Insights from EDA, ECG, and EEG Data for Adaptation Evaluation in VR Adaptive Systems[C]. New York, USA: ACM Publisher, 2023.
- [5] LIU Yu-qi, GAN Yan, SONG Yao, et al. What Influences the Perceived Trust of a Voice-Enabled Smart Home System: An Empirical Study[J]. Sensors, 2021, 21(6): 2037.
- [6] ISO. ISO 9241-11, Ergonomics of human-system interaction—Part 11: Usability: Definitions and concepts[S].
- [7] 朱吉虹, 严海燕, 廖海进. 移动互联网产品情感体验设计层次模型建构[J]. 包装工程, 2018, 39(24): 177-182. ZHU Ji-hong, YAN Hai-yan, LIAO Hai-jin. The Construction of Emotional Experience Design Hierarchical Model in Mobile Internet Product[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(24): 177-182.
- [8] CHEN Shao-han, KAMARUDIN K M, YAN Shi-hua. Product Innovation: A Multimodal Interaction Design Method Based on HCI and TRIZ[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1875(1): 012012.
- [9] 王韞, 何丽雯, 王党校. 智能家居中的触觉交互体验[J]. 包装工程, 2022, 43(16): 37-49, 108.

- WANG Yun, HE Li-wen, WANG Dang-xiao. Haptic Interaction Experience in Smart Homes[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(16): 37-49, 108.
- [10] 杨文珍, 吴新丽, 余岭, 等. 基于视嗅觉认知的虚拟嗅觉生成装置[J]. 中国机械工程, 2015, 26(22): 3051-3056, 3063.
- YANG Wen-zhen, WU Xin-li, YU Ling, et al. A Virtual Olfactory Generation Device for Visual-Olfactory Perceptions[J]. China Mechanical Engineering, 2015, 26(22): 3051-3056, 3063.
- [11] ARDITO C, BUONO P, COSTABILE M, et al. Interaction with Large Displays[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2015, 47: 1-38.
- [12] 许娟, 程励. 复杂性视角下乡村旅游地居民旅游满意度研究[J]. 人文地理, 2020, 35(6): 149-160.
- XU Juan, CHENG Li. A Research on Tourism Satisfaction of Residents in Rural Destinations Based on the Perspective of Complexity[J]. Human Geography, 2020, 35(6): 149-160.
- [13] URRY J. The Complexity Turn[J]. Theory, Culture & Society, 2005, 22(5): 1-14.
- [14] NITIDARA N P A, SARWONO J, SUPRIJANTO S, et al. The Multisensory Interaction between Auditory, Visual, and Thermal to the Overall Comfort in Public Open Space: A Study in a Tropical Climate[J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 78: 103622.
- [15] SALOMON R, NOEL J P, ŁUKOWSKA M, et al. Unconscious Integration of Multisensory Bodily Inputs in the Peripersonal Space Shapes Bodily Self-Consciousness[J]. Cognition, 2017, 166: 174-183.
- [16] DMITRENKO D, MAGGIONI E, OBRIST M. OSpace: Towards a Systematic Exploration of Olfactory Interaction Spaces[C]. New York, USA: ACM, 2017.
- [17] 周俊. 问卷数据分析破解 SPSS 的六类分析思路[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- ZHOU Jun. Analysis of Questionnaire Data and Six Kinds of Analysis Ideas of SPSS[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2017.
- [18] RUSSO I, CONFENTE I. From Dataset to Qualitative Comparative Analysis (QCA)—Challenges and Tricky Points: A Research Note on Contrarian Case Analysis and Data Calibration[J]. Australasian Marketing Journal (AMJ), 2019, 27(2): 129-135.
- [19] FISS P. Building Better Causal Theories: A Fuzzy Set Approach to Typologies in Organization Research[J]. Academy of Management Journal, 2011, 54(2): 393-420.

责任编辑: 陈作

(上接第 470 页)

- [10] SLATER M, USOH M, STEED A. Depth of Presence in Virtual Environments[J]. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 1994, 3(2): 130-144.
- [11] BOHIL C J, ALICEA B, BIOCCA F A. Virtual Reality in Neuroscience Research and Therapy[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2011, 12(12): 752-762.
- [12] TSAI P H, CHEN C J. Entertainment in Retailing: Challenges and Opportunities in the TV Game Console Industry[J]. Journal of Retailing and Consumer Services, 2021, 60: 102503.
- [13] LIU Yu-qi, GAN Yan, SONG Yao, et al. What Influences the Perceived Trust of a Voice-Enabled Smart Home System: An Empirical Study[J]. Sensors, 2021, 21(6): 2037.
- [14] HIRSCHMAN E C, HOLBROOK M B. Hedonic Consumption: Emerging Concepts, Methods and Propositions[J]. Journal of Marketing, 1982, 46(3): 92-101.
- [15] ROGERS E M. Diffusion of Innovations[M]. New York: Simon and Schuster, 2010.
- [16] ANDERSON J C, GERBING D W. Structural Equation Modeling in Practice: A Review and Recommended Two-Step Approach[J]. Psychological Bulletin, 1988, 103(3): 411-423.
- [17] 韩婷芷. 职业目标如何影响本科生的学习质量——求知欲与自我效能感的中介作用与遮掩效应[J]. 中国高教研究, 2021(12): 30-36.
- HAN Ting-zhi. How do Career Goals Affect Undergraduates' Learning Quality: Mediating and Masking Effects of Curiosity and Self-Efficacy[J]. China Higher Education Research, 2021(12): 30-36.
- [18] BAGOZZI R P, YI Y. On the Evaluation of Structural Equation Models[J]. Journal of the Academy of Marketing Science, 1988, 16(1): 74-94.
- [19] 杨惠珺, 谭婷. 基于 S-O-R 理论的秦绣文创产品顾客购买意向影响研究[J]. 包装工程, 2022, 43(24): 287-293.
- YANG Hui-jun, TAN Ting. Research on the Influence of Qin Embroidery Wenchuang Products' Customers' Purchase Intention Based on S-O-R Theory[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(24): 287-293.

责任编辑: 陈作