

基于 CMR+FBS 方法模型的家庭智能体交互设计

覃京燕¹, 张文昊¹, 周茉莉², 陈智博¹, 晋赞霞¹, 郝泽宇¹

(1.北京科技大学, 北京 100083; 2.百度人工智能交互设计院, 北京 100085)

摘要: **目的** FBS (即功能—行为—结构) 认知计算设计模型对内容容器的设计缺乏对应的有效指导方法。本文提出针对内容功能关系需求的 CMR 认知计算设计模型, 探讨家庭智能体交互设计的功能与内容设计的本体论框架。**方法** 除了在家庭智能体的功能设计中引入 FBS 模型, 本文还提出了针对智能体及人机交互内容设计的 CMR (即内容—心智及交互模型—需求与关系) 设计模型。其中, 内容包括用户自身产生内容 (UGC)、专业生产内容 (PGC)、职业生产内容 (OGC), 以及本文提出的生态系统生成内容 (EGC)。本文提出 CMR+FBS 方法模型, 分析了功能任务与内容描述之间的转换关系, 并将 CMR+FBS 模型应用于百度智能音箱项目的研究中, 对其唤醒功能的设计进行了分析。**结论** FBS 模型与 CMR 模型的结合能够支持高度灵活的智能体产品设计和数据服务的交互设计, CMR 模型是提供高满意度用户体验的关键因素。寻求功能任务需求与构建用户生成内容的人机交互 (HRI) 关系是智能产品交互设计的新方法。

关键词: 交互设计; 家庭智能体; CMR+FBS 方法模型

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)16-0108-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.16.016

Interaction Design of the Family Agent Based on the CMR+FBS Ontology

QIN Jing-yan¹, ZHANG Wen-hao¹, ZHOU Mo-li², CHEN Zhi-bo¹, JIN Zan-xia¹, HAO Ze-yu¹

(1.University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2.Baidu AI Interaction Design Lab, Beijing 100085, China)

ABSTRACT: FBS (Function-Behavior-Structure) cognitive computing design model lacks corresponding effective guidance methods for content container design. The work aims to propose the CMR cognitive computing design model for content functional relationship requirements, and discuss the function of family agent interaction design and the ontology framework of content design. In addition to introducing FBS model into the functional design of family agent, CMR (Contents-Mental/Interaction Models-Relationship/Requirements) design model for agent and human-computer interaction content design was also proposed herein. Among them, the contents included user generated contents (UGC), professional generated contents (PGC), occupational generated contents (OGC), and ecosystem generated contents (EGC) proposed herein. The CMR+FBS ontology model was proposed herein, the conversion relationship between functional tasks and content descriptions was analyzed, the CMR+FBS model was applied to the research of Baidu Brand smart speakers, and the design of its wake-up function was analyzed. The combination of FBS model and CMR model can support highly flexible agent product design and interactive design of data services. CMR model is the key factor to provide high satisfaction user experience. The combination of FBS and CMR supports highly agile live intelligent agent product design and data service interaction design. CMR is the key factors for providing high satisfaction user experience. Finding function and task requirements and constructing HRI relationship with the user generated contents creation is the new interaction design method for the intelligent products.

收稿日期: 2019-04-03

基金项目: 中央基本科研业务费项目 (FRF-TP-18-010C1); 教育部“长江学者奖励计划”青年项目

作者简介: 覃京燕 (1976—), 女, 四川人, 博士, 北京科技大学教授、博士生导师, 主要研究方向为人工智能与创新设计、交互设计、信息设计、大数据的信息可视化、可持续设计、数字文化遗产、数字娱乐等。

KEY WORDS: interaction design; family agent; CMR+FBS ontology model

家庭智能体的交互设计分为功能设计和内容设计两个部分。FBS (Function-Behavior-Structure, 即功能—结构—行为) 模型是 Gero 教授等提出的用于描述产品概念设计过程的理想模型^[1-2]。从该模型于 1990 年被提出至今, FBS 模型已被广泛地应用于设计领域的研究上, 并被学者们不断探索与改进。在此过程中, 虽然已经较好地解决了在设计和开发早期阶段的需求模糊性问题, 但其应用仍主要集中于工程设计、建筑设计和软件设计, 并且主要针对功能的设计, 缺乏家庭智能体内容方面的设计^[2-9]。在设计智能体产品的服务系统时, 设计师需要将 FBS 扩展到解决功能设计和内容设计的本体论中。由于缺乏针对内容的设计方法与模型, 所以本文根据覃京燕教授在 2016 年从无人驾驶车的交互设计中探索提出的 CMR 模型, 针对智能体功能设计的 FBS 模型以及人机交互内容设计的 CMR 模型, 提出通过使用 CMR+FBS 方法模型, 实现原子+比特的设计哲学, 兼容物质世界的功能和数字世界的内容之间的信息沟通融合与形态转化, 在用户与智能体的人机交互方面, 创造系统、完整、统一、流畅、持续的用户体验。

1 文献调研

FBS 设计本体论的方法模型是 John Gero 教授等提出的用于描述产品概念设计过程的理想模型^[3]。早期的 FBS 方法模型 (1990 年) 根据功能 F, 行为 B 和结构 S 三个基本变量类型, 将客观世界、解读世界和预期世界联系在一起, 描述设计活动^[1-10]。2004 年, Gero 教授等对模型进行了完善, 引入了设计要求的概念。之后 Cascini 等针对 FBS 模型中存在的问题加入了需求和要求的概念^[11-21]。Gero 教授在 2009 年的论文中进一步描述了 FBS 模型及其与设计与设计创意的关系^[10]。FBS 设计本体论的方法模型见图 1。这个过程的设计目标是将 1 组功能转换为 1 组设计描述文件 D。设计对象的功能 F 被定义为产品设计要求目标。该对象的行为 B 是实现其功能的方式, 也是可以从设计对象的的的结构 S 派生的属性, 分为结构派生行为 Bs 和预期行为 Be。其中, 结构 S 是对象的组件 Components 及其关系^[10]。这三个本体论的类别是相互联系的: 功能 F 与行为 B 有联系; 行为 B 与结构 S 有联系; 功能 F 和结构 S 之间没有联系。FBS 框架所阐述的设计主要过程包括: (1) 将功能 F 转换为一组预期行为 Be 的构想; (2) 提出可能表现出预期行为 Be 的结构 S; (3) 分析结构产生其派生行为 Bs, 预期行为和从结构中得出的派生行为之间存在交互式的评估过程; (4) 结构 S 的分析最终产生设计描述的文档^[10]。

FBS 设计本体论

The FBS Ontology of Designing

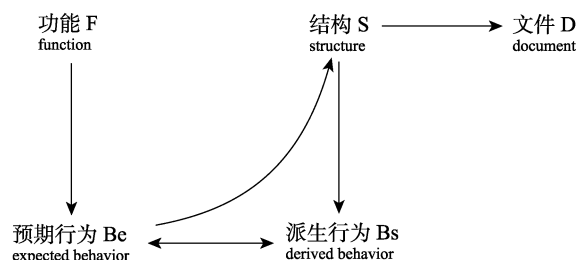


图 1 FBS 设计本体论的方法模型

Fig.1 The model of FBS ontology of designing

FBS 模型已被应用在许多设计学科的建模设计 (设计结果) 和设计过程 (设计活动) 中, 包括工程设计、建筑和软件设计^[2-9]。运用 FBS 模型解决的是“如何做”的问题。它始于功能, 止于结构, 并未将用户需求很好的涵盖其中^[12]。因为 FBS 模型对变量概念的表述是刚性的, 即非 0 即 1 的表述, 所以在该模型的设计研发过程中, 需求必须是明确的^[2]。实际上, 随着技术的更新迭代, 人、事、物的关系不断变化, 用户需求会呈现出多层次且动态变化的特点, 因此, 设计前端的需求具有一定的模糊性^[2]。为此, 广大学者展开了广泛的研究和深入, 主要有引入其他理论和在前期借助其他模型对用户需求进行补充两种方式。例如, 将自然交互作为模糊需求的求解办法, 且运用 QFD 来建立用户需求与产品设计要求之间的直接映射关系, 从而确保用户需求与产品设计要求的高度一致性^[2,13]。然而目前对 FBS 模型的应用大多是针对功能型的实体产品, 缺乏针对信息型产品的研究。用户需求不仅包含功能层面, 还包括生理、心理和主观感受等方面。这使得 FBS 设计本体论的方法模型在解读客观物质世界与思维空间、信息空间和赛博空间之间, 存在功能与内容的模糊的边界场域范围, 针对功能的 FBS 设计本体论的方法模型, 无法在交互对话式和交互式叙事的信息内容中明确交互功能, 在智能音箱等语音交互的智能体的设计中, 无法在对话式人机交互设计中形成清晰的信息结构与功能目标, 用户的交互行为也无法固化为可赋予形态的行为模式与交互模型。针对以上问题, 覃京燕教授在 2018 年提出全息生态智能产品服务系统的设计方法, 兼顾“武器型”的功能设计与“容器型”的内容设计的双重特性。本文提出将 FBS 设计本体论的方法模型拓展为 CMR+FBS 设计本体论的方法模型, 正是应对 AI 等介入生物神经网络和交互内容所形成的网络结构, 由此产生人机交互对话式的活数据、活信息架构、活产品、活服务, 而 John Gero 教授提出的

FBS 设计本体论的方法模型,无法针对日益增多的交互内容的大数据以及 AI 算力的内容设计需求,进行设计方法论的指导。本文提出的 CMR+FBS 设计本体论的方法模型,系统考虑功能、内容、载体三个交互设计要素,在全息系统和设计本质的转化层面进行设计方法的模型指导,是一种更加符合产品服务系统生态特性的设计本体论与方法模型。

2 功能设计与内容设计

《辞海》对内容的定义有三层,一是物件里面所包含的东西;二是事物内部所含的实质或意义;三是 1 个哲学名词,即事物内在因素的总和。《用户体验要素》中的范围层包含任务流中的功能规范和信息流中的内容需要^[14],用户体验要素见图 2。由于交互设计的四大作用是信息的交换价值、界面的交流媒介、功能的交感手段,以及内容的交通评测^[15],所以内容是用户体验中不可忽视的重要部分,但设计师经常缺乏内容体验的意识^[16]。

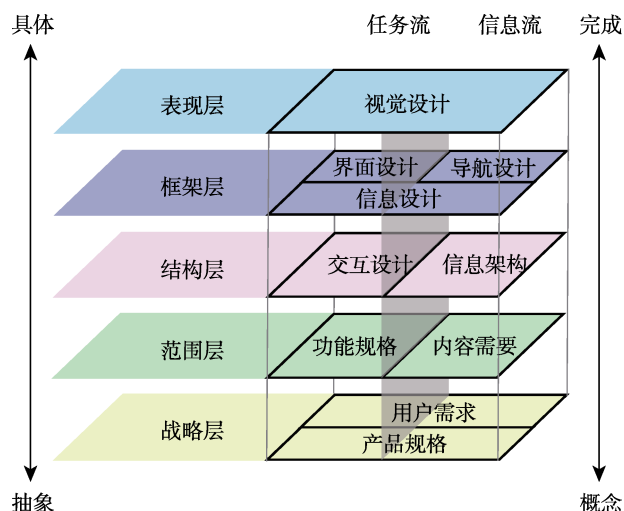


图2 用户体验要素^[14]
Fig.2 The elements of user experience^[14]

优质的内容能够满足用户的需求,并且内容的呈现也是用户消费的一环。阿里巴巴设计团队将内容定义为通过加工和再组织所形成的泛商品信息,主要包含文字、商品、图片和多媒体四部分信息。内容本身是传播流动的,从内容的生产到各个平台的再组织,再到内容的呈现,最后才被用户消费、流转^[16]。内容的传播与内容信息流的流动过程^[14],见图3。随着内容产业转向可视化修辞学(Visualization Rhetoric)的发展方向,比拟、比喻、排比、夸张、借代、对偶、设问、反问、反复、衬托、用典、化用、互文等越来越多手法被语言学家和设计师们运用到内容的交互式叙事(Interactive Narration)中。从内容设计的角度,采用针对功能的 FBS 设计本体论的方法模型,

无法匹配内容设计和信息设计,针对内容的 CMR 设计本体论的方法模型,为内容设计提供了合适的设计方法,本文提出 CMR+FBS 这种新的设计本体论方法模型,不仅可以指导功能的设计,还考虑到内容与功能的相互转化,成为指导日益增多的内容设计信息设计的必然需求。

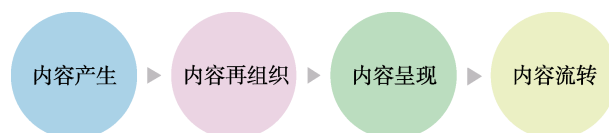


图3 内容的传播流动过程^[14]
Fig.3 The flow process of content dissemination^[14]

3 CMR 设计模型

家庭智能体的交互设计分为功能和内容两个层面。由于 FBS 设计模型在内容设计层面缺乏,覃京燕教授针对 FBS 中的三个本体论类别找到了在内容设计层面与之相对应的变量类别,提出了针对内容设计的 CMR 设计模型^[17]。CMR 模型依据供需关系理论进行信息流、物质流和资金流的容器设计。CMR 设计本体论见图4。C代表承载内容(Content)的容器(Container),包含有形(器物类型等的物质内容)和无形(意识,伦理,审美等精神内容)两个方面,两者软硬结合、由表及里、相互转化。M是以单环路和双环路的用户心智模型(Mental Model)为主体,以包含五个数字化和非数字化信息架构层级的交互模型(Interaction Model)为客体。交互模型分为主动交互和被动交互两种,在与智能体的交互过程中,前一个动作的反馈可以转换为下一个动作的前馈,进而建立对 2R(Relationship & Requirement)与产品设计要求之间的映射关系。CMR 强调内容需要匹配相应的心智模型与交互模型,界定阈值之后,使阈值引导用户的愿景(Vision)与需求(Demand),导出对功能、内容、媒介的需求(Requirement)供应匹配,构建人、事、物的功能与内容的中庸转化关系,而非单纯功能、行为、结构(FBS)的静态映射对应关系^[17]。内容的设计借助信息设计,不仅包含编辑内容层面上的数据挖掘、数据过滤、信息分类排序、信息选择、视觉展示、注释解说等,而且包含修辞类别层面上的信息获取及信息输入、信息输出,还包括信源产生、信息素扩散、信息演变路径、信息觅食行为、信息行为模式、信息宿主关系的演变、转化、变迁,信息的元数据元信息、信息关系的映射,信息黑箱、白箱、灰箱的处理,信息语言学等纷繁、复杂的信息构想、信息理解及信息表达。如此庞杂全息系统的内容设计,需要有针对性内容的 CMR 设计本体论的方法模型作为设计指导,将设计想法转化为设计实践。

CMR设计本体论

The CMR Ontology of Designing

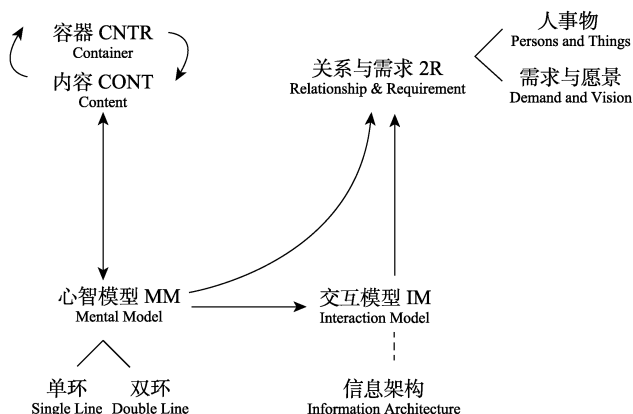


图 4 CMR 设计本体论的方法模型
Fig.4 The model of CMR ontology of designing

在使用 FBS 模型进行产品开发^[18]之前,首先,运用 CMR 模型界定设计内容和范畴,计算 AI 算法的阈值,引导用户的愿景与需求,导出设计的供需关系。从消费心理层面来看,用户接受设计的引导并不是靠对设计的需求来决定,而是由设计结果的接受理由为消费动因,形成设计的供需之间的对价关系。然后,将 CMR 内容中的“需求”演化为用户接受产品服务功能的消费接受理由,作为 FBS 模型的功能要素,并以此为基础展开 FBS 模型的设计过程。通过 CMR 与 FBS 的融合应用建立了用户需求与其他变量(F、B、S)之间的联系,这使设计过程中考虑的因素更加全面真实,可形成功能与内容的动态生长、变

化的全息生态系统关系,便于从多角度来分析用户的需求。最终,通过此方式能优化设计结果,均衡其功能和内容因素,实现信息流、物质流和资金流的融合。

4 CMR+FBS 研究方法与流程

基于 CMR 和 FBS 模型, 建立“媒介容器—内容—功能”的 CMR 与 FBS 模型集成应用范式, 从而更好地指导产品创新设计。CMR+FBS 设计本体框架见图 5。其融合应用的具体研究过程主要包括: (1) 建立人机对话的容器, 计算对话内容; (2) 从人机交互反馈的内容中发掘用户的内容需求和功能需求; (3) 容器中的功能需求按照 FBS 方法进行认知计算; (4) 容器中的内容需求按照 CMR 方法进行对话语意计算; (5) 在对话语意内容中归纳建构用户的心智模型, 对内容进行认知决策判断; (6) 根据用户心智模型重新组织人工智能介入的心智模型, 构成双环路的心智模型; (7) 根据人类智能与其双环心智模型, 匹配人机交互模型; (8) 心智模型与交互模型共同界定人机交互对话的内容阈值, 并区分新交互内容的功能性内容与陈述性内容; (9) 功能性内容导出交互功能的供需关系, 陈述性内容导出内容交互的反馈前馈对话关系; (10) 确定供需关系与对话关系设计智能体的人机环境交互场景故事内容的需求关系; (11) 根据需求和关系进行交互功能与交互行为的转化、交互行为与信息架构的数据结构转化; (12) 结合 CMR 和 FBS 确定用户与智能体的人机交互对话的交互语法, 对话中的功能与内容进入下一轮的人机交互的前馈反馈。

CMR+FBS设计本体框架

CMR+FBS DESIGN ONTOLOGY FRAMEWORK

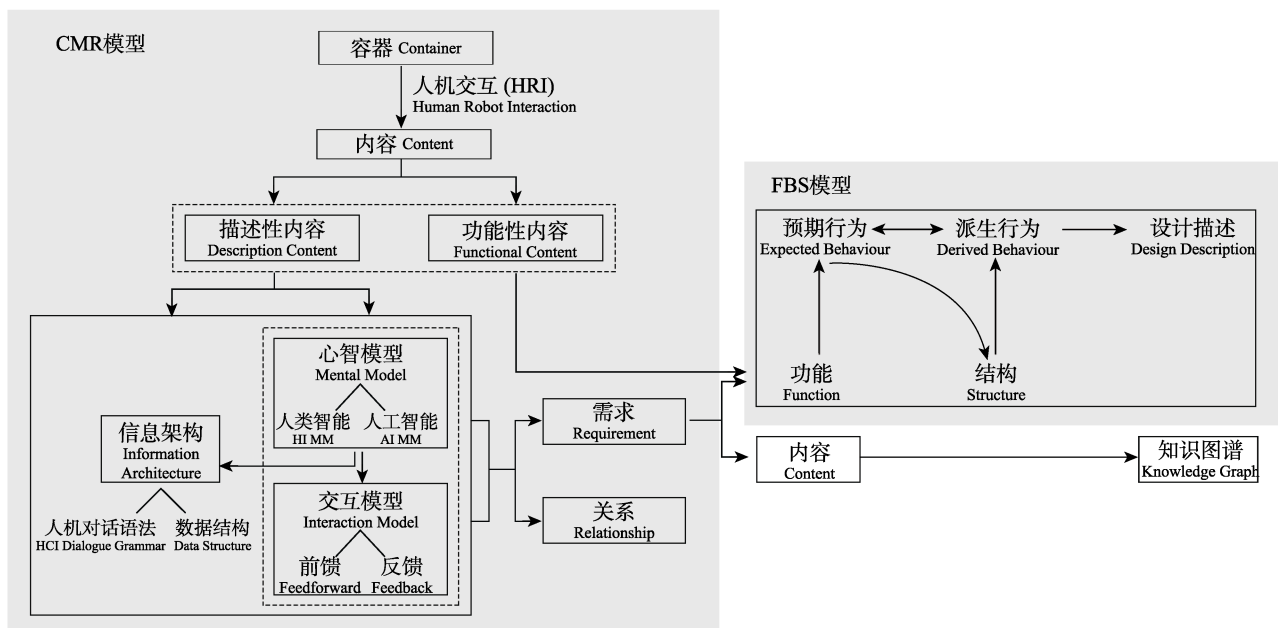


图 5 CMR+FBS 设计本体框架
Fig.5 CMR+FBS design ontology framework

CMR 模型中的阈值界定是通过内容与交互模型的匹配得到的, 根据 CMR 模型将其转化为供需关系。内容需要转化为具体的实现方式, 这样能与用户的交互方式、交互模式相匹配。构建用户供需关系与设计要求关系链接图(Linkograph)与内容知识图谱(Knowledge Graph), 分析用户供需关系与家庭智能体设计要求之间的关系, 从中提取归纳关键设计要求目标。然后通

过对关系数据的分析, 确定产品的关键设计要求, 并对其归纳分析, 作为家庭智能体的功能要素, 引导 FBS 映射过程。通过使用 Goldschmidt (1990 年) 的链接技术, 可以识别出无关的字段间的连接。研究团队记录了一段关于家庭智能体设计的用户对话, 并对其进行了分析, 然后根据关键设计要求构建了链接图的示例。家庭智能体的内容供需之间的关系链接图见图 6。

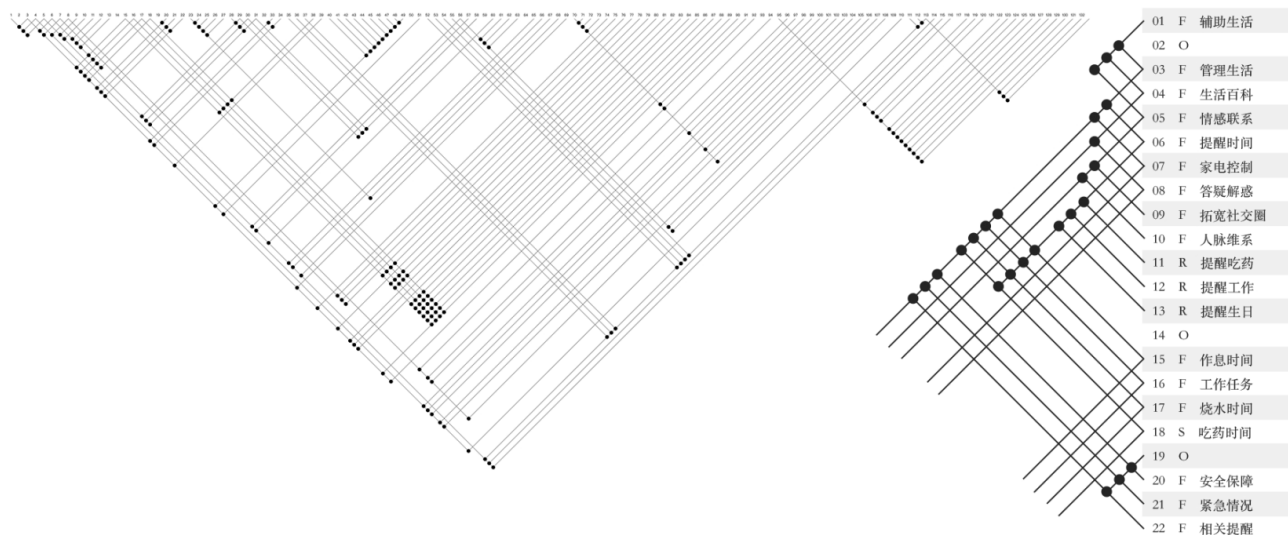


图 6 家庭智能体的内容供需之间的关系链接图

Fig.6 Linkograph of supply-demand relationship for AI family agent

5 CMR+FBS 模型与家庭智能体的唤醒词设计

随着工业 4.0 时代的到来, 智能移动终端和云端大数据技术为新时代的开创奠定了基础, 技能化产品的市场已经打开了大门, 如今, 智能产品已走进了千家万户^[19]。人工智能的萌芽与发展、繁荣伴随着人机交互技术与交互设计的发展, 从以人机交互技术为导向, 到以人为中心的体验设计, 再到关注意识, 采用人工智能增强情景感知、意识感知和情绪感知, 最终形成以意义为中心的交互设计方法^[15]。人工智能可以有效地处理如大数据流、信息流、知识流、物资流和资金流等交互元素, 并利用这些数据, 从系统、信息、控制和协同、耗散、突变等方面形成颠覆式的创新思维^[20], 因此, 在进行智能产品设计时, 除了传统的功能、行为和结构的武器设计, 还需充分考虑承载数据信息的容器设计。

家庭作为组成社会的基本单位, 是社会价值体系善恶观念集中体现的地方。家庭智能体是为人类服务的特种机器人, 并不是简单的家居或电子产品, 而是作为一个家庭成员融入在家庭生活中, 充当“生活管家”、“知心朋友”、“专属保姆”等角色。家庭智能体的设计过程不能仅考虑传统的功能—行为—结构, 还要结合家庭形态的意识、伦理和审美, 借助大数据和人工智能算法, 形成群智与体验 (User Experience)

和感质 (Qualia) 的协同共生^[17]。然而目前对家庭智能体的设计大多停留在对功能的实现上, 缺乏对内容的设计。从用户自产生内容 (UGC) 到专业生产内容 (PGC) 到职业生产内容 (OGC), 再到通过量化自我 (Quantified-self) 和机器无权重神经网络学习, 形成生态系统生成内容 (Ecosystem Generated Contents, 即 EGC), 缺乏知识图谱的语义、语用、语法、语境的分析, 环境感知计算、意识感知计算和情绪感知计算, 故事性与完整性缺乏。导致家庭智能体的体验较差, 无法很好地融入到家庭生活中, 真正意义上地成为家庭的一部分。

为了更好地了解、定位用户对家庭智能体的认知与需求, 研究团队于 2018 年 12 月借助问卷星在线上 (微信为主) 发放了针对智能产品需求的研究问卷。共收到了 142 份有效问卷, 调研用户的年龄范围在 18~71 岁, 其居住地涵盖二十个省份, 包含四个档位的消费水平, 并对三组家庭 (包含二胎家庭、空巢青年、三代家庭) 进行了田野调查。根据调查问卷中的用户主观题以及田野调查中的用户深度访问话语记录, 使用 Python 编程语言对用户话语进行词频统计, 将词语大小按照出现频率的高低进行排列, 通过 KJ 法和语言学中具身翻译的词汇关联法, 结合人工智能的 GAN 算法, 形成用户与智能体在对话式语音交互过程中的字云 (见图 7)。借助用户访谈的字云可以较为直观地看到用户需求较大的内容, 从中可以看出内容和



图 7 字云
Fig.7 Word cloud

信息层面的需求在关键词分布中占据的比重更大。

唤醒作为家庭智能体的一种必备功能,唤醒的话术设计则需要从内容层面考虑。家庭智能体作为一个内容的载体,唤醒话术便是其需要承载的内容。与智能体的语音交互过程中,存在心智模型和交互模型两种模型,只有找到两者的平衡点才能实现用户体验的最优化,因此,智能体的语音唤醒方式和人与人的交流方式较为相似。例如,某天早上出门前看到外面是阴天,担心会下雨,于是向正在做家务的妈妈喊了一声“妈”,你妈妈听到后便停下手上的动作,把头转向你,表示她听到了,接着你又问“今天是不是要下雨?”,你妈妈回忆了昨天看的天气预报,说:“没有雨,就是阴天。”实际上,人类的心智模型会更复杂。你可能会叫“妈”、“妈妈”,或者一个眼神、一个动作,甚至没有称呼直接询问,你的妈妈都能理解到你是在和她说话,但是智能体仍然不及人类的智慧,很多行为是无法引起它们注意的,因此,需要定义一个将产品从待机状态切换到工作状态的词语,使得心智模型与交互模型相匹配,这便是“唤醒词”。

以百度的智能产品为例,当使用搭载 DuerOS 系统的智能音箱时,需要多次叫出它的名字——“小度小度”,才能使其切换到工作状态。识别到唤醒词后,智能体识别的成功率和误唤醒率是对唤醒功能实现程度最基本的考量。为了提高智能体的识别率,降低误唤醒率,需要对唤醒方式和唤醒词进行阈值上的界定。例如,必须在 3 秒之内连续叫两声“小度”,针对统一任务的多轮对话之间的间隔不超过 8 秒等。这些都是基于功能层面的设计,若想要进一步提升用户体验,就必须结合内容设计与功能设计,采用 CMR+FBS 本体论模型进行内容与功能的转化设计。

应用 CMR+FBS 模型在发掘用户的内容需求和

功能需求后,要在对话语义内容中归纳、建构用户的心智模型,对内容进行认知决策判断。根据用户心智模型重新组织人工智能介入的心智模型,构成双环路的心智模型,进而匹配人机交互模型。例如,除了功能实现方式,唤醒词的组合方式和语音、语调等因素都会影响到用户的体验。研究表明,叠词的组合以及“小+字”的组合更容易获得用户的喜爱^[18],因此百度智能体产品的唤醒词才设定为了“小度小度”^[22]。同时,小度智能体的回应也会根据用户的多种语料的数据喂养,而产生“在呢”,“嗯”,“小度在听着”,“小度来啦”,“诶,我在听”,“我在哦”^[22]等多种回应。

6 结论

针对交互设计过程中的内容设计问题,创建了 CMR+FBS 设计本体框架,并应用在百度家庭智能音箱的研究中,完成了对 FBS 模型的优化、改进,通过家庭智能体的唤醒词设计案例,研究了 CMR 模型在用户需求提取中的应用。CMR 和 FBS 模型的融合应用支持高敏捷的智能体产品设计和数据服务交互设计,CMR 是提供高满意度的用户体验的关键因素。寻找功能任务需求,构建与用户自生成内容的交互关系,是智能产品交互设计的一种新方法。CMR+FBS 本体论模型为用户需求的提取提供了一种新的设计思路和方法,同时扩展了 FBS 模型的应用。

参考文献:

- [1] GERO J S. Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design[J]. AI Magazine, 1990, 11(4): 26—36.
- [2] 胡志刚,王延超,吴群,等. 基于自然交互的 FBS 设

- 计模型[J]. 包装工程, 2017, 38(2): 127—130.
- HU Zhi-gang, WANG Yan-chao, WU Qun, et al. FBS Design Model Based on Natural Interaction[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(2): 127—130.
- [3] DENG Y M. Function and Behavior Representation in Conceptual Mechanical Design[J]. Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing, 2002, 16(5): 343—362.
- [4] CHRISTOPHE F, BERNARD A, COATANÉA É. RFBS: A Model for Knowledge Representation of Conceptual Design[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2010, 59(1): 155—158.
- [5] CLAYTON M J, TEICHOLA P, FISCHER M, KUNZ J. Virtual Components Consisting of Form, Function and Behavior[J]. Automation in Construction, 1999, 8(3): 351—367.
- [6] KRUCHTEN P. Casting Software Design in the Function-Behavior-Structure Framework[J]. IEEE Software, 2005, 22(2): 52—58.
- [7] HOWARD T J, CULLEY S J, DEKONINCK E. Describing the Creative Design Process by the Integration of Engineering Design and Cognitive Psychology Literature[J]. Design Studies, 2008, 29(2): 160—180.
- [8] YAN M. Representing Design Knowledge as a Network of Function, Behavior and Structure[J]. Design Studies, 1993, 14(3): 314—329.
- [9] SARTORI F. Towards the Design of Intelligent CAD Systems: An Ontological Approach[J]. Advanced Engineering Informatics, 2007, 21(2): 153—168.
- [10] KAN J W T, GERO J S. Using the FBS Ontology to Capture Semantic Design Information in Design Protocol Studies[J]. J.mcdonnell & P.lloyd About, 2009: 213—229.
- [11] GERO J S, KANNENGIEDDER U. The Situated Function-Behavior-Structure Framework[J]. Design Studies, 2004, 25(4): 373—391.
- [12] 孟祥斌, 孙苏榕. 融合语义学的产品概念设计过程模型研究[J]. 机械设计, 2017(2): 114—118.
- MENG Xiang-bin, SUN Su-rong. Research on Product Conceptual Design Process Model Based on Fusion Semantic[J]. Journal of Machine Design, 2017(2): 114—118.
- [13] 许艳秋, 宋端树, 辜俊丽, 等. 基于 QFD 与 FBS 模型的坐便器多适性设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(24): 283—287.
- XU Yan-qiu, SONG Duan-shu, GU Jun-li. Research on Multi-Fitness Design of Toilet Based on QFD and FBS Model[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(24): 283—287.
- [14] GARRETT J J. 用户体验要素[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- GARRETT J J. User Experience Elements[M]. Beijing: China Machine Press, 2011.
- [15] 覃京燕. 大数据时代的大交互设计[J]. 包装工程, 2015, 36(8): 1—5.
- QIN Jing-yan. Grand Interaction Design in Big Data Era[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(8): 1—5.
- [16] 阿里巴巴设计. 用户体验大会内容整理: 内容化设计[EB/OL]. (2017-09-10) [2019-3-12]. http://www.sohu.com/a/191080696_222745.
- ALIBABA Design. User Experience Conference Contents: Content Design[EB/OL]. (2017-09-10) [2019-3-12]. http://www.sohu.com/a/191080696_222745.
- [17] 覃京燕. 审美意识对人工智能与创新设计的影响研究[J]. 包装工程, 2019, 40(4): 1—13.
- QIN Jing-yan. Impact of Aesthetic Consciousness on Artificial Intelligence and Innovation Design[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(4): 1—13.
- [18] 张青, 陈登凯, 余隋怀. 产品设计中基于 FBS 模型的用户需求分析方法[J]. 机械设计, 2018(7), 123—128.
- ZHANG Qing, CHEN Deng-kai, YU Sui-huai. User Requirement Analysis Method Based on FBS Model in Product Design[J]. Journal of Machine Design, 2018(7), 123—128.
- [19] 阮佳丽. 智能家居的 FBS 模型研究—以智能化妆镜为例[J]. 数码设计, 2017(17), 142—143.
- RUAN Jia-li. Research on FBS Model of Smart Home: Taking Smart Cosmetic Mirror as an Example [J]. Peak Data Science, 2017(17), 142—143.
- [20] 覃京燕. 人工智能对交互设计的影响研究[J]. 包装工程, 2017, 38(20): 39—43.
- QIN Jing-yan. Impaction of Artificial Intelligence on Interaction Design[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(20): 39—43.
- [21] CASCINI G, FANTONI G, MONTAGNA F. Situating Needs and Requirements in the FBS Framework[J]. Design Studies, 2013, 34(5): 636—662.
- [22] DuerOS. 干货 | 最全人工智能“唤醒词”研究报告[EB/OL]. (2018-01-23) [2019-3-12]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1590351415202797724&wfr=spider&for=pc>.
- DuerOS. Details: Research Report on "Wake-up Words" of the Most Complete Artificial Intelligence[EB/OL]. (2018-01-23) [2019-3-12]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1590351415202797724&wfr=spider&for=pc>.