

DOI: 10.3901/JME.2023.11.094

基于知识图谱的智能产品服务系统交互设计研究^{*}

从靖晨¹ 项忠霞¹ 李心雨² 董良¹ 李巨韬¹ 陈俊贤³

(1. 天津大学机械工程学院 天津 300350;

2. 东华大学机械工程学院 上海 201620;

3. 新加坡南洋理工大学机械与宇航工程学院 新加坡 639798)

摘要: 为满足用户对智能产品服务系统的个性化需求,提出了一种基于知识图谱的智能产品服务系统交互设计方法,使产品开发团队能够通过交互设计本领域、外领域知识的结合与调用,输出智能产品服务系统的设计解决方案。首先,基于用户体验五要素理论构建本领域知识图谱,并利用其他学科的开源知识构建外领域知识图谱。其次,利用概念-知识(C-K)算子获取针对用户个性化需求的解决方案,以及方案对应的感官通道的数量和表现层元素的知识。最后,构建针对需通过人-Smart PSS交互以实现个性化需求、基于实时数据的人机交互决策树。利用所开发的智能产品服务系统实时收集情景数据,结合已建立的人机交互决策树可不断获取并执行相应的解决方案。以智能用药服务系统为例,验证了基于知识图谱的智能产品服务系统交互设计方法的良好可行性。

关键词: 智能产品服务系统; 交互设计; 知识图谱; C-K理论

中图分类号: TH166

A Knowledge Graph-based Interaction Design Method for Smart Product-service System Development

CONG Jingchen¹ XIANG Zhongxia¹ LI Xinyu² DONG Liang¹ LI Jutao¹
CHEN Chun-Hsien³

(1. School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350;

2. College of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai 201620;

3. School of Mechanical and Aerospace Engineering, Nanyang Technological University, Singapore 639798)

Abstract: To meet the dynamic and personalized requirements of Smart product-service system, a knowledge graph-based interaction design method is proposed to combine and utilize the internal and external knowledge for outputting Smart product-service system design solutions. Firstly, an internal knowledge graph is established based on the five elements of user experience, and an external knowledge graph is established with open-source knowledge of other fields. Secondly, the Concept-Knowledge (C-K) operator is utilized to obtain the solutions to the personalized requirements, the number of sensory channels, and the knowledge of elements in the surface layer. Finally, the human-computer interaction decision tree is constructed to meet the dynamic and personalized requirements. After the system is developed and used, Smart product-service system can collect the context data in real-time and obtain the solutions by utilizing the results of the human-computer interaction decision trees. To validate the performance of the proposed approach, a case study of a smart medication service system is conducted.

Key words: smart product-service system; interaction design; knowledge graph; C-K theory

0 前言

如今,数字技术正在全球范围内影响着工业和

社会的发展,生产制造类企业对所研发产品的服务与数字化程度日益关注。大量企业开始将产品和服务捆绑为解决方案包,通过将解决方案包提供给客户来满足其个性化需求^[1],这种商业模式被称为产品服务系统^[2-4]。产品服务系统于1999年首次创建,随着信息技术的发展不断演变。以信息技术驱动的

^{*} 太阳石药业工业设计创新开发资助项目(2019GKF-0005)。20211118收到初稿,20220915收到修改稿

产品服务系统的演变可分为三个阶段,包括:基于互联网的产品服务系统(传统产品服务系统)^[5],支持物联网的产品服务系统^[6]和智能产品服务系统^[7]。如图 1 所示^[4]。通过图 1 可知,物联网、信息物理系统等技术的发展为智能产品服务系统提供了技术支持。ZHENG 等^[4]给出了智能产品服务系统的明确定义:“一种由信息技术推动的价值共同创造战略,由多个利益相关者作为参与者,智能系统作为基础设施,智联产品作为媒体和工具,以及智联产品生成的电子服务作为交付的关键价值,这些价值不断完善以可持续的方式满足个人客户的需求”。

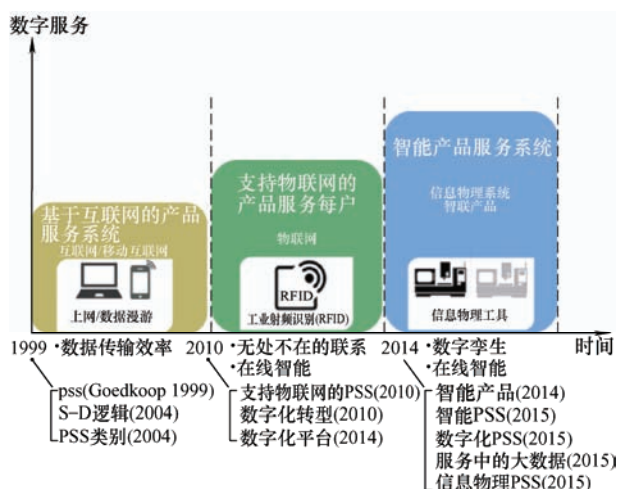


图 1 信息技术驱动的产品服务系统演变过程^[4]

设计是产品服务系统的核心,而智能产品服务系统是在传统产品服务系统的基础上构建的^[8],可以说在智能产品服务系统的开发过程中,高效地完成设计工作也是至关重要的一环^[1]。智能产品服务系统可通过设计满足更多的用户需求^[9],从而提升用户对系统的粘性^[10]。目前关于智能产品服务系统的设计方法备受学术界关注^[11]。但虽然相关研究众多,却仍存在一些有待解决的问题^[12]。本文将先对现有相关研究的现状进行梳理,提出待解决问题并进行阐述。然后再针对待解决问题,提出一种新的基于知识图谱的智能产品服务系统交互设计方法。

1 智能产品服务系统交互设计方法的研究现状

1.1 智能产品服务系统的设计方法

目前有很多关于智能产品服务系统设计方法的研究。BU 等^[13]结合用户生成的数据和虚拟现实系统生成的数据,提出了基于虚拟现实的以用户为中心的智能产品服务系统开发方法。CONG 等^[14]提出

了一种名为设计熵理论的基于信息论的智能产品服务系统开发设计方法,通过监控设计熵来确保智能产品服务系统的稳定性。WU 等^[8]提出了一种基于数字孪生框架的智能产品服务系统优化方法,以在概念设计阶段改进系统的设计解决方案。YANG 等^[10]为了在智能产品设计中引入情感因素,提出了一种结合层次分析法和模糊综合评价法的智能产品服务系统设计方法。CHIU 等^[15]利用无监督自然语言处理方法分析用户提供的数据,提出了一种为智能产品服务系统客户设计个性化解决方案的方法。武春龙等^[16]提出通过择优集成相关功能模块,形成一种设计智能产品服务系统概念方案的方法。虽然近几年有较多关于智能产品服务系统设计方法的研究与讨论,但是上述研究更多关注如何分析系统功能并提出设计解决方案,目前关于智能产品服务系统人机交互方向的研究仍较少。

交互设计是解决产品和用户之间互动机制的设计^[17],人机之间的交互是通过人机界面来实现的^[18]。智能产品服务系统的人机界面不仅包括虚拟服务的人机界面(如 APP、网站),还包括人与物理产品接触的界面。交互设计过程中涉及两个重要的方面,即理解用户需求和提升用户体验^[19]。为理解智能产品服务系统的用户需求,WANG 等^[20]提出了基于图论的需求获取方法,以帮助工程/设计人员进行设计修改或生成新的设计概念;为提升智能产品服务系统的用户体验,CHANG 等^[21]提出了一个基于用户体验五要素理论、以用户为中心的智能产品服务系统开发方法。但是,目前关于智能产品服务系统交互设计的研究仍存在待解决问题:部分用户需求需要通过系统与用户不断交流互动才能满足(本文将此类需求简称为交互型需求),然而目前缺乏面向智能产品服务系统的、可为用户个性化的交互型需求提供解决方案的交互设计方法。

1.2 知识图谱及其在设计领域的应用

近年来,知识工程技术一直被广泛用于设计领域的研究中^[22]。罗仕鉴等^[23-24]对产品设计中基于群体文化学的隐性知识表达、基于图解思维的隐性知识表达分别进行了论述。但目前智能产品服务系统仍缺乏可利用并整合现有交互设计知识与其他领域知识的方法。在开发专业性较强、涉及多个领域的产品服务系统时,会需要运用到设计师缺乏的其他领域专业知识(比如医学知识、经济学知识)。传统的产品服务系统开发时,这种专业知识缺口通常是通过与其他领域专业人员密切合作、频繁讨论来填补的,但是这种方法增加了开发成本、降低了开发

效率。

为此, 本文将知识图谱技术^[25]与交互设计进行结合。知识图谱作为一种较新的知识工程技术, 因其在知识管理方面比其他方式具有更高的灵活性和扩展性^[26], 很适合被运用于交互设计领域。知识图谱通过三元组结构实现对现实世界的事物及其相互关系的形式化描述^[27]。基于知识图谱和 C-K 模型, LI 等^[28]构建了一种新的设计方法。该方法提出构建两个知识图谱, 并通过执行 4 个 C-K 算子生成用于智能产品服务系统的创新解决方案, 这项研究是本文的基础。与该方法相比, 本文更侧重于通过利用用户体验五要素作为知识图谱结构、构建面向用户个性化的交互型需求的人机交互决策树、执行 6 个 C-K 算子等方式, 生成智能产品服务系统的交互设计方案。

本文所执行的 C-K 算子来自 C-K 理论。C-K 理论对创新设计过程中知识进化过程进行了详细的阐述, 受到了设计界的广泛关注^[29]。C-K 理论提出了概念设计对象 x 的概念空间 C 和知识空间 K 。其中, 概念空间 C 是由一组概念 c_1, c_2, \dots, c_m 组成, 代表了 x 的部分未知或不常见性质; 知识空间 K 是由一组知识 k_1, k_2, \dots, k_n 组成, 代表了设计 x 过程中使用的确定会发生的知识和先前经验^[30-31]。C 空间与 K 空间之间的映射是通过 4 个 C-K 算子操作来实现, 算

子包括合取($C \rightarrow K$ 算子)、析取($K \rightarrow C$ 算子)、概念分区($C \rightarrow C$ 算子)及知识扩展($K \rightarrow K$ 算子)^[32], 可通过逻辑推理将 C 空间中的概念连接成 K 空间中的知识($C \rightarrow K$ 算子)或用其他概念进行阐述($C \rightarrow C$ 算子), 而 K 空间中的已经建立的知识可被用来补充新的概念($K \rightarrow C$ 算子)或继续在 K 空间内进行演绎($K \rightarrow K$ 算子)^[33]。本文将利用 C-K 算子对本领域、外领域知识图谱内储存的知识进行搜索与调用。

2 智能产品服务系统交互设计方法

如图 2 所示, 本文提出了一种新的智能产品服务系统交互设计方法, 该方法框架分成两个部分: 一部分是知识库的构建, 包括利用本产品服务系统原型、已有的设计知识(可来自其他相关产品服务系统/产品/服务的设计方案)构建而成的本领域知识图谱(即设计领域知识图谱)、利用设计学科之外领域的开源知识构建而成的外领域知识图谱、利用外领域知识图谱构建的解决个性化的交互型需求的人机交互决策树; 另一部分是针对个性化用户需求的设计过程, 首先获取用户个性化需求, 然后开发者利用 C-K 算子获得本次设计需要的知识, 继而获取个性化的设计解决方案, 最后将该方案应用于设计实践。

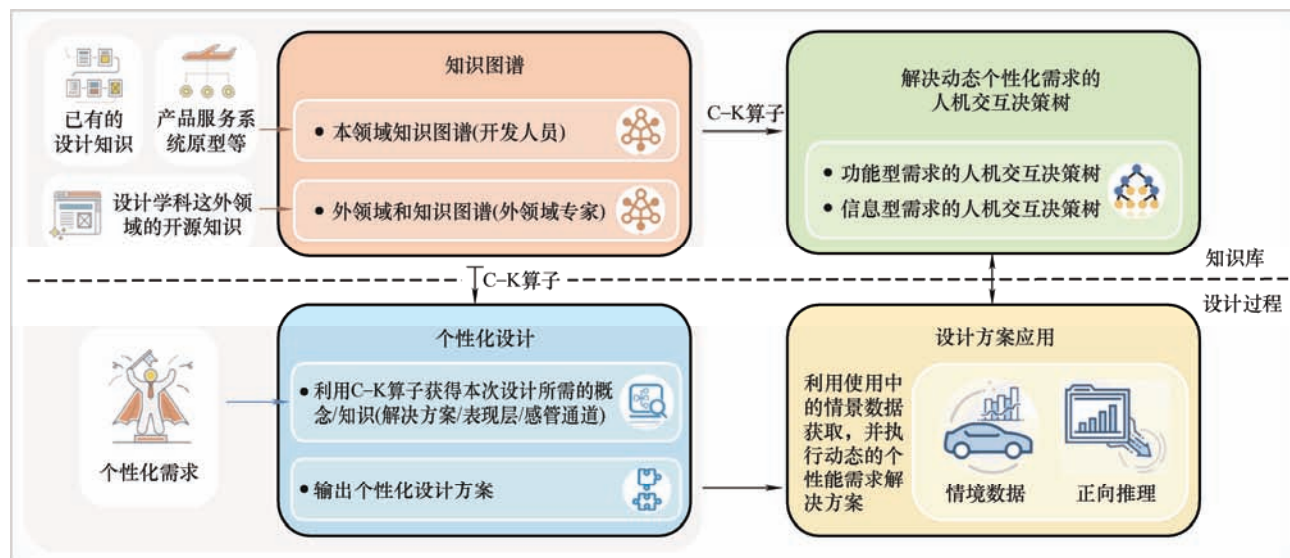


图2 智能产品服务系统交互设计方法框架

2.1 知识库的构建

在构建知识库时, 采用用户体验五要素作为结构。用户体验五要素常被用于界面设计^[34], 本次研究选用用户体验五要素作为架构的优势在于: 1) 该方法更强调以用户为中心, 突出交互设计的概念, 便于组织产品服务系统中关于人机交互的知

识; 2) 该方法涉及视觉层面, 补充了^[28]研究中只考虑到系统框架层的问题, 有利于将更多的设计知识囊括到了本领域知识图谱的范畴中。为了更好地将用户体验五要素应用于新的研究对象, 本研究中的五要素分别为: 1) 战略层, 产品/服务所针对的用户需求; 2) 范围层, 产品/服务的功能; 3) 结构层, 产

品/服务的人机交互；4)框架层，产品的模块、服务的组件；5)表现层，产品的颜色、材质、工艺，服务所需的界面，如图3所示。其中外领域知识图谱用于战略层构建；本领域知识图谱用于范围层、结构层、框架层和表现层构建。

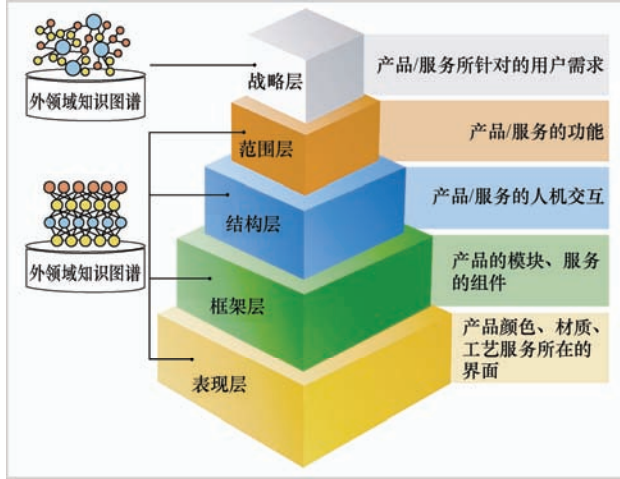


图3 用于智能产品服务系统设计的用户体验五要素

2.1.1 外领域知识图谱的构建

外领域知识图谱是用多域开放源知识构造的，领域专家可以根据网页或其他文本资料的结构，手动预先定义外领域知识图谱的架构。之后利用 web 爬虫工具从大量网页中提取概念、属性、关系，并相应地添加到外领域知识图谱中。收集的知识用固定结构建立，可以直接用预定义的初始模式 $\langle \text{Concept, Attribute, Relation} \rangle$ [35] 进行形式化，其中：

1) $\text{Concept} = \{\text{label}_i\}$ ，其中每个 label_i 都是一个类名。每个 label_i 下的具体示例，在知识图谱上作为实体(entity)出现。

2) $\text{Attribute} = \{\text{key}_{ij}\}$ ，其中 key_{ij} 是 label_i 的共享属性，相应的值 property_{ij} 以文本形式在知识图谱上储存。

3) $\text{Relation} = \{\langle \text{head}_{\text{label}_i}, \text{rel}_{\text{type}_{ij}}, \text{tail}_{\text{label}_j} \rangle\}$ ，此处 Relation 代表 Concept 之间的关系。此关系是有指向的，括号内 $\text{head}_{\text{label}_i}$ 是头， $\text{tail}_{\text{label}_j}$ 是尾。

例如：专家从药品说明书上的介绍标题中提取了概念集，概念集包含药物名称、规格、用法、每次使用剂量、每天使用次数、有效期、功效和注意事项。每一个标签对应的实体都会被提取作为外领域知识图谱的节点，比如药物名称对应三九胃泰颗粒。每个概念的属性集也被定义，药物名称的属性包含药品分类属性、类别属性。属性对应的值会被提取，如药品分类对应的非处方药。关系是通过常识、网站或文本上的描述联系起来的，比如：〈药

物名称，禁忌，注意事项〉，如图4所示。

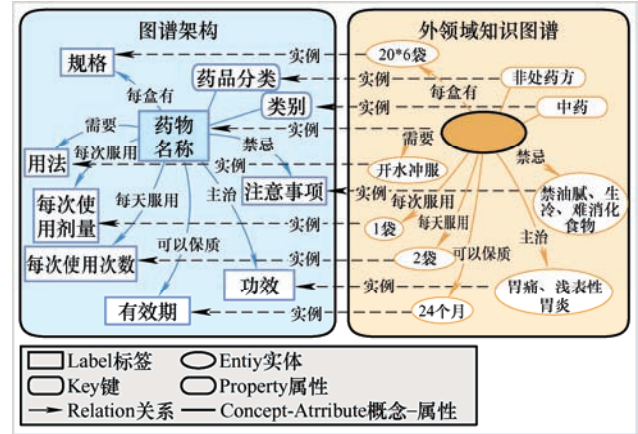


图4 外领域知识图谱构建案例

2.1.2 本领域知识图谱

建立本领域知识图谱以对智能产品服务系统中的产品/服务模块及其关系进行建模。本领域知识图谱可用于分析用户的个性化需求，例如：设计一款针对老年人的智能护理系统，不同生活场景下(如居家养老、社区养老、养老院养老)的老年人需求是不同的，所应提供的系统应不同，且每个老人所患疾病不同，护理中注意事项也应不同。可识别满足个性化需求的产品/服务模块，是建立本领域知识图谱的目的。此外，本领域知识图谱还可以不断拓展，以便于系统的迭代升级。如图5所示，利用用户体验五要素中的范围层、结构层、框架层、表现层作为架构，建立本领域知识图谱。

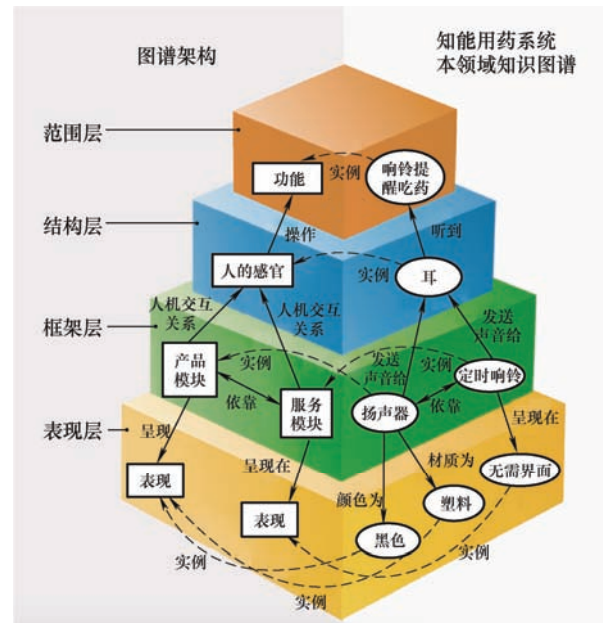


图5 本领域知识图谱构建案例

2.2 知识挖掘与方案获取

在构建外领域、本领域知识图谱后，将利用 4

类 C-K 算子进行知识挖掘与方案获取,如图 6 所示, 其中涉及 6 个算子, 下面将逐一进行介绍。

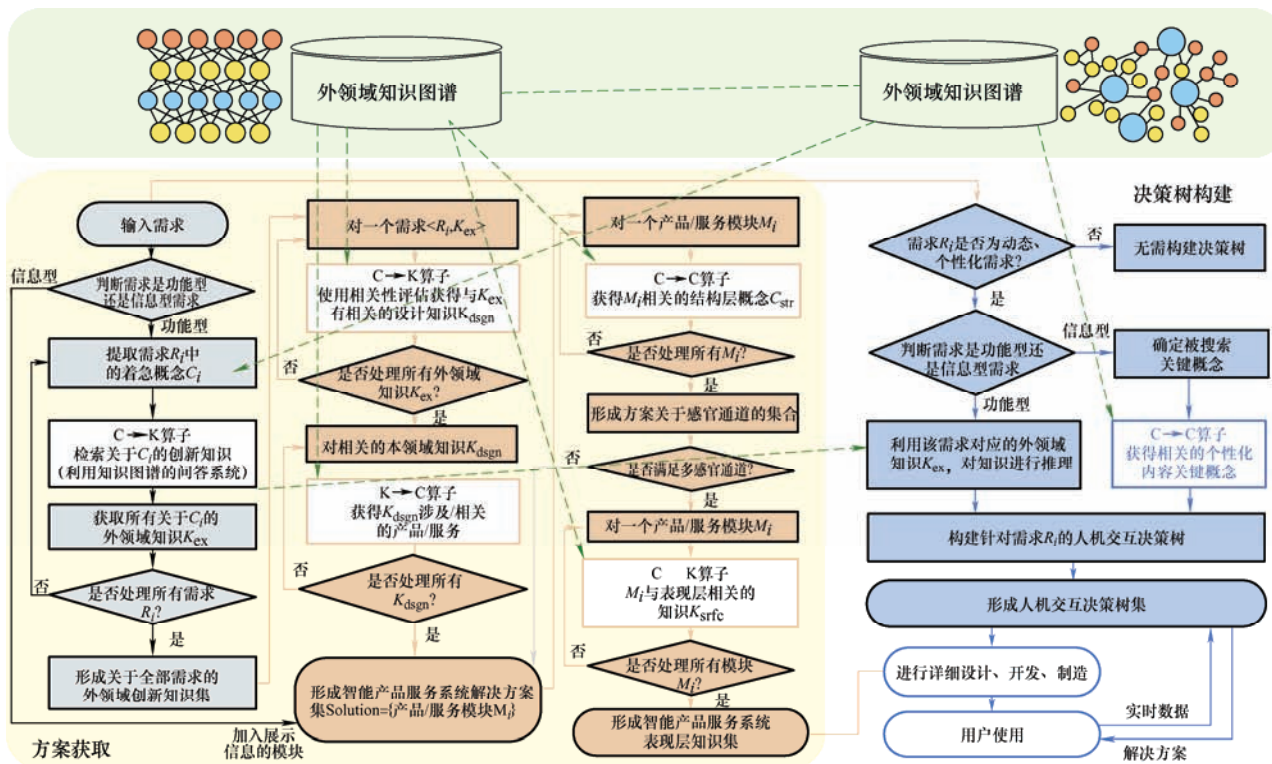


图 6 C-K 算子获取智能产品服务系统设计知识与方案的流程图

1) C→K 算子。在进行第一个 C→K 算子前, 首先需获取个性化需求, 判断其为功能型需求还是信息型需求。此处仍沿用以用户为中心的设计方法的分类^[35], 功能型需求是指用户需要系统提供完成任务的一个或一组工具; 信息型需求是指用户需要系统提供可理解的信息组合。

对于有与外领域知识图谱相关的概念和关系的功能型需求, 则利用知识图谱的问答系统, 进行处理; 对于没有与外领域知识图谱相关的概念和关系的功能型需求, 在排除是知识图谱构建的问题后, 可人工为其制定解决方案。而对于信息型需求, 则直接在解决方案集合中加入用于展示信息的模块即可。

外领域知识 K_{ex} 可用公式表示, 即 $K_{ex} = \langle \text{head}_{\text{entity}_i}, \text{relation}_{\text{label}_{ij}}, \text{tail}_{\text{entity}_j} \rangle$, 其中某个/些槽是通过个性化需求获取的, C→K 算子就是通过已知的槽来填充未知的槽, 从而查找到相关的概念。举例来说, 已知 $\text{head}_{\text{entity}_i}$ 和 relation_{ij} , 那么通过查询后获得 $\text{tail}_{\text{entity}_j}$, 即获得相关知识, 其查询模式如下:

MATCH ($p: \text{label}_i \{ \text{name}: " \text{head}_{\text{entity}_i} " \} \} : [a: \text{relation}_{ij}] \rightarrow (n)$

RETURN p, a, n

2) K→K 算子。利用 K→K 将外领域知识与本

领域知识进行连接, 找到与 K_{ex} 相似度高的 K_{dsn} , 进而确定需求对应的产品/服务模块。计算由 C→K 算子获取的某条本领域知识 K_{dsn}^i 与某条外领域知识 K_{ex}^i 的相似度 $\text{KnowRel}(K_{dsn}^i \rightarrow K_{ex}^i)_{ij}$ 。然后计算某条本领域知识 K_{dsn}^i 与某条需求 R_k 对应的全部 l 条外领域知识的相似度之和, 作为这条 K_{dsn}^i 与需求 R_k 的相似度

$$\text{KnowRel}(K_{dsn}^i \rightarrow R_k)_{ik} = \sum_{j=1}^l \text{KnowRel}(K_{dsn}^i \rightarrow K_{ex}^i)_{ij} \quad (1)$$

在计算每条本领域知识与需求对应的相似度后, 根据相似度对本领域知识进行排序与筛选, 确定出用于下一步确定解决方案的本领域知识 K_{dsn} 。若某条需求对应的本领域知识 K_{dsn} 的相似度均低于预期值, 说明目前本领域知识图谱中存在的设计知识均与该需求不相关, 即无法利用目前的本领域知识给出该需求对应的设计解决方案。这意味着从外领域知识图谱中挖掘出了未被考虑/解决过的新的需求痛点, 需要设计团队介入进行不依赖本领域设计知识的创新设计。

3) K→C 算子。利用上一步确定的 K_{dsn} , 获取与需求对应的产品/服务模块 M_i 。首先从 K_{dsn} 中提取其首、尾实体, 如果实体为产品/服务模块 M_{direct} ,

则直接加入解决方案集。在本领域知识图谱中搜索是否有与 M_{direct} 存在关系的模块 M_{indirect} , 并将 M_{indirect} 补充进解决方案集。这里所说的关系包括与初始解决方案集中服务模块存在依赖关系的物理模块、与初始解决方案集中物理模块存在控制、接收信号等关系的物理模块、向初始解决方案集物理模块供能的模块。之后, 设计者需对该解决方案进行检查与调整。

4) $C \rightarrow C$ 算子(在 C-K 理论中, 这一步也可以被理解为先执行了 $C \rightarrow K$ 算子再执行了 $K \rightarrow C$ 算子, 因为这步拓展性细分并不是在概念空间完成的, 而是利用了知识图谱完成。但是对于本文提出的方法而言, 可以直接在知识图谱中用一个搜索语句完成, 将其扩展为两个算子进行描述反而不便于设计师理解, 所以本文将其合并描述成一个算子)。利用知识图谱的问答系统获取解决方案集中每个产品/服务模块 M_i 对应的结构层实体 C_{str} , 形成关于感官通道的集合 **Sense**。此处如果解决方案中包含了通过创新设计确认的模块, 即无法查询到该模块对应的感官通道, 则可向集合 **Sense** 中人工补充其感官通道。如果 $\text{card}(\text{Sense}) > 1$, 即当前解决方案符合多感官通道。如果 $\text{card}(\text{Sense}) = 1$, 仅涉及单感官通道, 设计师应对设计解决方案进行重新调整。

5) $C \rightarrow K$ 算子。利用知识图谱的问答系统获取解决方案集中每个产品/服务模块 M_i 与表现层相关的知识, 形成这个产品服务系统的表现层知识集, 用于指导后续详细设计。关于表现层的知识 K_{srcf} 可通过公式表示, 即 $K_{\text{srcf}} = \langle \text{head}_{\text{entity}_i}, \text{relation}_{ij}, \text{tail}_{\text{entity}_j} \rangle$, 其中 $\text{head}_{\text{entity}_i}$ 的标签 label_i 和名称都是已知的(解决方案集中每个产品/服务模块 M_i), $\text{tail}_{\text{entity}_j}$ 的标签 label_j 也是已知的(标签为表现), 通过查询后获取 relation_{ij} 和 $\text{tail}_{\text{entity}_j}$ 的名称, 即获得表现层知识, 其查询模式如下:

MATCH (p : label _{i} {name:" head_{entity _{i}} "})-[a]->(n: label _{j})

RETURN p, a, n

在经过上述 5 个 C-K 算子的检索后,获得了解决方案集和表现层知识集。需要说明的是,此时解决方案集中的模块,是要满足用户需求时的必选模块,设计团队还可以根据在构建产品/服务时的实际情况添加其他模块。

6) $C \rightarrow C$ 算子。该算子用于构建人机交互决策树，后续将详细说明。

此外,本文提出的设计方法,也可用于计算机辅助设计平台的构建。该平台不仅可辅助设计师将用户个性化需求转化成设计方案,还可用于用户自

主完成个性化定制。用户利用该平台完成智能产品服务系统的初步设计,而后设计师将对初步方案进行修改与完善。如图 7 所示,平台使用者可以将与设计项目相关的本领域知识和外领域知识以文档的形式上传到平台。平台会把上传文档内的知识转化成知识图谱,且该平台将不断收集各类知识以对知识图谱进行扩充。如图 8 所示,平台使用者将用户个性化需求输入到平台上,点击“转化需求”按键,平台将利用 **C-K** 算子对知识图谱内的知识进行查询,最终确定设计解决方案。如图 9、图 10 所示,界面中展示的“必选模块”就是根据用户需求确定的设计解决方案,使用者可根据平台的推荐模块,结合平台内其他的模块,对智能产品服务系统进行构思与设计。

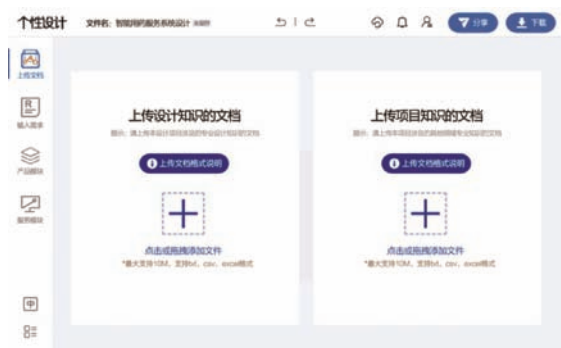


图7 计算机辅助设计平台的上传文档界面



图 8 计算机辅助设计平台的输入需求界面

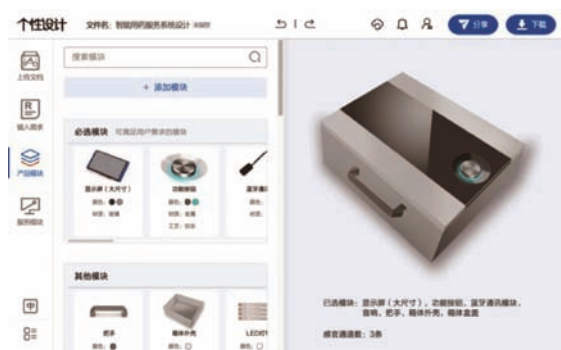


图9 计算机辅助设计平台的产品模块选择界面



图 10 计算机辅助设计平台的服务模块选择界面

2.3 人机交互决策树构建

人机交互决策树是为了满足用户个性化的交互型需求而构建的。用户的交互型需求是指系统需要在不同的时间点执行不同的系统行为来满足的用户需求。本文提出,针对个性化交互型需求,先分析系统满足该需求所需的行为,以及执行该行为所需的实时数据类别,再将系统行为扩展成人机交互决策树。需要注意的是,人机交互决策树有两个类型,分别对应功能型与信息型的个性化的交互型需求。部分人机交互决策树可不利用已经构建的知识图谱进行搭建,而本文主要讨论需要利用知识图谱构建人机交互决策树的情况。

2.3.1 面向功能型的个性化的交互型需求

如图 11 所示,在确定个性化的交互型需求为功能型需求后,利用该需求从外领域知识图谱中提取的相关知识 K_{ex} 进行推理,并基于此总结智能产品服务系统应对该需求时的系统行为,以及执行系统行为所需获取的实时数据。最后建立基于实时数据的人机交互决策树,以为用户个性化需求提供解决方案。



图 11 面向功能型需求的人机交互决策树构建流程

2.3.2 面向信息型的个性化的交互型需求

如图 12 所示,在确定个性化的交互型需求为信息型需求后,确定系统需要展示的内容,以及该个性化内容的类别。根据个性化内容的类别确定与之相关的、可实时获取的数据类别。在构建/执行决策树时,系统需要先收集作为被搜索关键概念的数据,然后利用 $C \rightarrow C$ 算子从外领域知识图谱中提取个性化内容的具体概念。

外领域知识图谱中的知识均可用 $K_{ex} = \langle \text{head}_{\text{entity}_i}, \text{relation}_{ij}, \text{tail}_{\text{entity}_j} \rangle$ 表示,其中 $\text{head}_{\text{entity}_i}$ 的名称是已知的(被搜索关键概念), $\text{tail}_{\text{entity}_j}$ 的标签 label_j 也是已知的(标签为个性化信息型别),通过查询后可获取 $\text{tail}_{\text{entity}_j}$ 的名称,即获得个性化内容关键概念,其查询模式如下:

MATCH ($p: \{ \text{name}: " \text{head}_{\text{entity}_i} " \} - [a] - > (n: \text{label}_j)$)

RETURN n

在通过外领域知识图谱进行查询后,可利用个性化内容关键概念对将要推送给用户的内容进行过滤,如果内容与该用户的个性化内容关键概念相关则推送,否则就不推送。

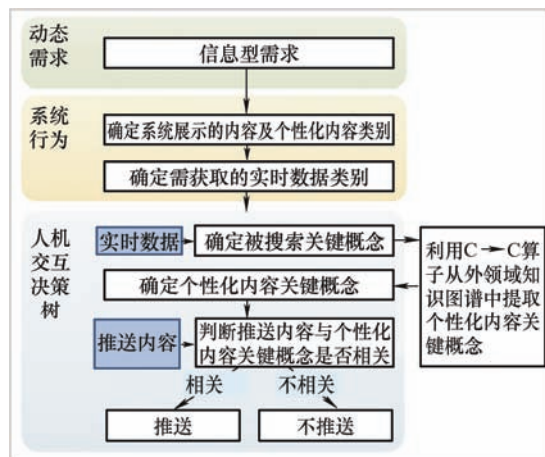


图 12 面向信息型需求的人机交互决策树构建流程

3 案例研究

本文以智能用药服务系统为案例证明上述方法的可行性。对于药物相关系统的设计,设计师需要利用医疗等方面非设计领域的专业知识辅助完成设计。用户对智能用药服务系统有着强烈的个性化需求,不同类别的用户(如居住在养老院的老人、居家养老的老人、瘫痪在床的病人等)对该系统的需求是不同的。总的来说,智能用药服务系统的研发适合

使用本文所提出的方法。

3.1 知识库的构建

在开始本项目时,设计师先初步分析用户目标,列出初步构思的产品服务系统的模块,并收集相关已有涉及知识。根据这些前期工作,开始进行知识库的构建。本文构建外领域知识图谱所用数据来自阿里健康大药房网站,该网站拥有互联网药品信息服务资格证书,且在构建知识图谱时,依据药品使用说明书对药品信息进行补充与检查。通过 python 操作 Neo4j 图形数据库构建外领域知识图谱,构建的外领域知识图谱的概念集与关系集如表 1 所示。构建图谱的可视化表现如图 13 所示,其中包含 60 个药品,510 个节点,703 条知识。

表 1 外领域知识图谱的概念集与关系集

标签	标签英文	关系	关系名	英文名
规格	capacity	药品—规格关系	每份有	rels_has
剂量	dose	药品—剂量关系	每次吃	rels_eatpertime
次数	frequency	药品—次数关系	每天吃	rels_eatperday
有效期	validity period	药品—有效期关系	可保质	rels_canuse
病情	disease	药品—病情关系	适用于	rels_cure
禁忌	limitation	药品—禁忌关系	禁止用于	rels_avoid
药品	drug	—	—	—

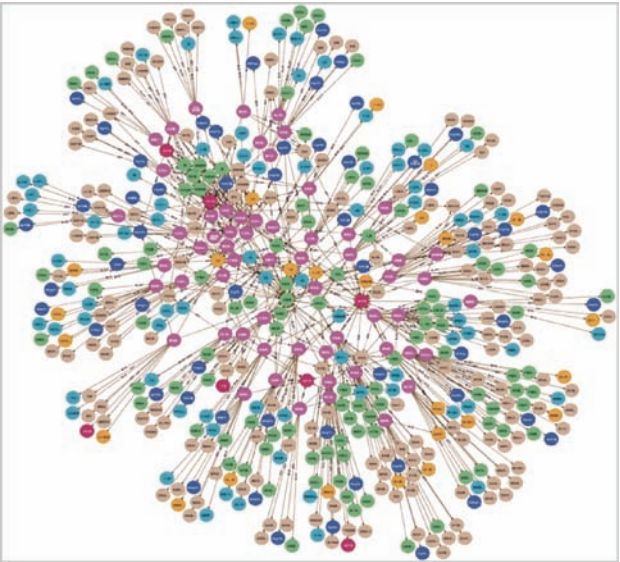


图 13 用药服务系统的外领域知识图谱

根据设计师提供的节点与关系构建本领域知识图谱,该图谱的可视化表现如图 14 所示,包含 60 个节点,146 条知识,其中节点的标签包括:功能、感官、产品、服务、表现,关系包括:感官-功能、产品-感官、服务-感官、产品-产品、服务-产品、产

品-表现、服务-表现。

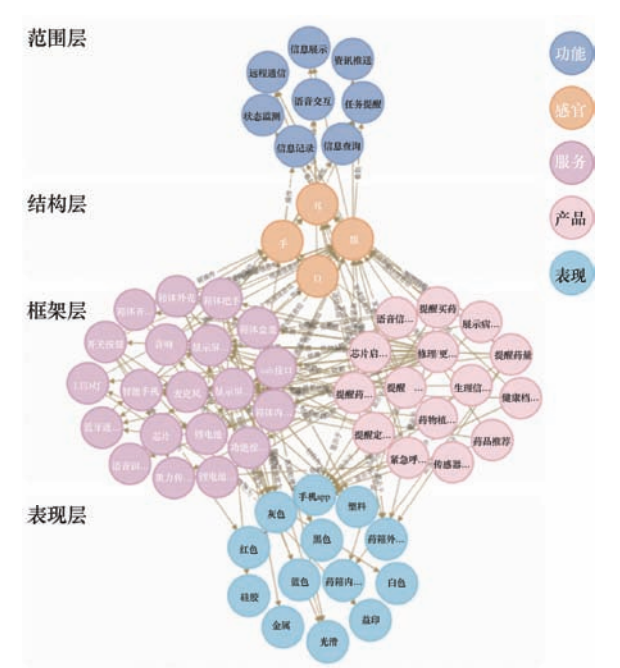


图 14 用药服务系统的本领域知识图谱

3.2 知识挖掘与方案获取

本案例以某地区内有长期吃药需求的、会使用智能设备的、对药箱有强烈需求的人为目标用户,收集用户需求。目标用户听力、视力均在正常范围内。获取目标人群的三条需求,如表 2 所示,其中需求 1、2 为功能型需求,分别确定其与外领域知识图谱相关的实体/关系。如表 3 所示,利用 C→K 算子从外领域获取了 6 条与需求 1、2 相关的知识。此外,需求 3 为信息型需求,内容需要在智能手机上展示,即在解决方案集合中加入智能手机与展示病情信息模块,且此需求为交互型需求,故将在 3.3 节中构建其人机交互决策树。

表 2 用户需求中的实体/关系

序号	需求	实体头	关系	实体尾
1	我每天要吃心脏方面的药“银杏叶提取物片”、“瑞舒伐他汀钙片”,还有补钙的药“壮骨颗粒”、“钙维生素 D 片”	名称为:“银杏叶提取物片”、“瑞舒伐他汀钙片”、“壮骨颗粒”、“钙维生素 D 片”	每天吃	待确定
2	我想装一些常用药,“复方板蓝根颗粒”、“夏桑菊颗粒冲剂”、“藿香正气水”,发病后再服用,但检查药品的有效时间很麻烦	名称为:“复方板蓝根颗粒”、“夏桑菊颗粒冲剂”、“藿香正气水”	待确定	标签为“有效”,实体名称待确定
3	我想随时在手机上了解一下我疾病的相关文章	—	—	—

表 3 从外领域知识图谱中获取的知识

外领域知识序号	实体头	关系	实体尾	对应需求
1	银杏叶提取物片	每天吃	2-3 次	1
2	银杏叶提取物片	每天吃	或遵医嘱服用	1
3	瑞舒伐他汀钙片	每天吃	1 次	1
4	壮骨颗粒	每天吃	3 次	1
5	钙维生素 D 片	每天吃	1 次	1
6	复方板蓝根颗粒	可保质	24 个月	2
7	夏桑菊颗粒冲剂	可保质	36 个月	2
8	藿香正气水	可保质	30 个月	2

本案例利用百度自研的基于 ERNIE 预训练语言模型的短文本相似度识别方法^[36], 获得了本领域所有知识与表 3 中显示的外领域知识的相似度, 并计算每条本领域知识与个性化需求的相似度。对与需求相似度较高的本领域知识进行筛选, 保留了与每条需求相似度最高的 3 条本领域知识, 结果如表 4 所示。从表四中的知识可获得初步的解决方案集: $Solution'=\{\text{音响, 智能手机, 提醒定时吃药, 药物信息收集, 提醒保质期}\}$ 。搜索与初始解决方案集合中的初始模块有关系的模块, 结果如表 5 所示。根据表 5 的结果, 结合需求 3 中涉及的模块, 将最终的解决方案集扩充为: $Solution'=\{\text{音响, 智能手机, 蓝牙通读模块, 功能按钮(关闭提示音), 显示屏模块(小尺寸), 提醒定时吃药, 提醒保质期, 药物信息收集, 展示病情信息}\}$ 。

表 4 从本领域知识图谱中获取的知识

本领域知识序号	实体头	关系	实体尾	对应需求	与对应需求的相似度
1	提醒定时吃药	依赖	智能手机	1	1.15354
2	提醒定时吃药	依赖	音响	1	1.09982
3	药物信息收集	依赖	智能手机	1	1.01087
4	提醒保质期	发送信息给	眼	2	1.06960
5	提醒保质期	依赖	音响	2	1.05470
6	提醒保质期	发送信息给	耳	2	0.97799

表 5 解决方案集的扩充集

初始模块	实体头	关系	实体尾	新增模块
音响	功能按钮(关闭提示音)	控制	音响	功能按钮(关闭提示音)
智能手机	蓝牙通讯模块	接收信号	智能手机	蓝牙通讯模块
智能手机	智能手机	接收信号	蓝牙通讯模块	蓝牙通讯模块
提醒定时吃药	提醒定时吃药	依赖	显示屏模块(大尺寸)	显示屏模块(大尺寸)
提醒定时吃药	提醒定时吃药	依赖	智能手机	—
提醒定时吃药	提醒定时吃药	依赖	音响	—
提醒保质期	提醒保质期	依赖	显示屏模块(大尺寸)	显示屏模块(大尺寸)
提醒保质期	提醒保质期	依赖	显示屏模块(小尺寸)	显示屏模块(小尺寸)
提醒保质期	提醒保质期	依赖	音响	—
药物信息收集	药物信息收集	依赖	智能手机	—

对获取解决方案集 $Solution$ 中每个产品/服务模块 M_i , 查找对应的结构层实体, 形成关于感官通道的集合 $Sense=\{\text{眼、耳、手}\}$ 。 $card(Sense)>1$, 说明当前解决方案会涉及多感官通道。之后利用 $C \rightarrow K$ 算子获取该方案的表现层知识集合, 如表 6 所示。该知识集将用于辅助设计师完成详细设计。在这个案例里不难发现, 通过个性化需求得出的解决方案乃至表现层信息, 并未涉及产品的整体外观, 比如药箱的体积等, 这正是因为本文列出的 3 个需求并不需要通过药箱的整体外观来满足, 设计师甚至可以通过改造原有的药箱来满足用户的需求。

表 6 本方案的表现层知识集

实体头	实体尾	关系
功能按钮(关闭提示音)	金属	表面材料为
功能按钮(关闭提示音)	蓝色	颜色为
功能按钮(关闭提示音)	灰色	颜色为
功能按钮(关闭提示音)	拉丝	表面处理工艺为
显示屏模块(大尺寸)	黑色	颜色为
显示屏模块(小尺寸)	黑色	颜色为
显示屏模块(大尺寸)	灰色	颜色为
显示屏模块(小尺寸)	灰色	颜色为
显示屏模块(大尺寸)	玻璃	表面材料为
显示屏模块(小尺寸)	玻璃	表面材料为
提醒保质期	药箱内界面	显示于
提醒定时吃药	手机 app 界面	显示于
提醒定时吃药	药箱外界面	显示于
展示病情信息	手机 app 界面	显示于
药物信息收集	手机 app 界面	显示于

3.3 人机交互决策树构建

在本案例中，以需求 1 为例展示面向功能型需求的人机交互决策树构建流程，如图 15 所示。对表 3 中需求 1 对应检索到的外领域知识进行归纳，发现每日服药的次数与服用的药品名相关，需求中的日常用药每日服用次数为 1/2/3 次或遵医嘱。在此基础上，提出系统的行为流程并确定执行过程中需要获得的实时数据类别。基于收集与推理的知识，将行为流程进行扩充，形成图中人机交互决策树。基于该决策树进行系统开发与运行，在用户使用过程中，系统将收集用户服用的药品名，利用药品名确定服用药物的次数，而后当时间为规划服药时间时对用户进行服药提醒，并对用户是否服药进行跟踪与记录。

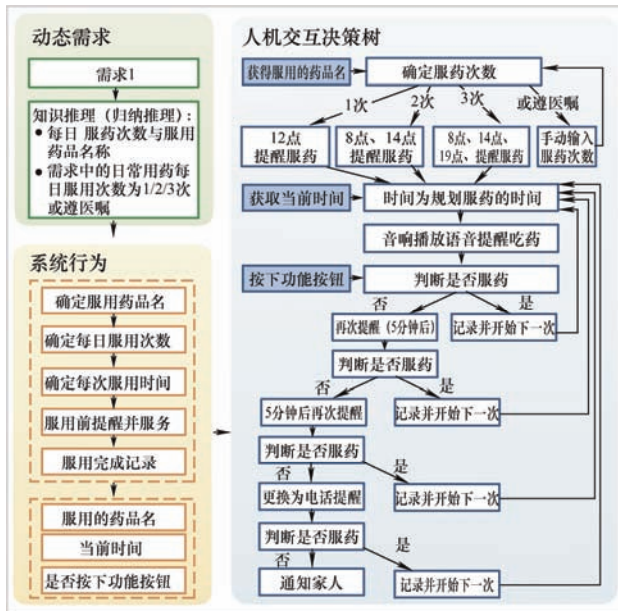


图 15 针对需求 1 的人机交互决策树构建流程

需求 3 为信息型个性化的交互型需求，如图 16 所示，为需求 3 的人机交互决策树的构建流程。在确定需要分析的需求后，将个性化信息类别定义为病情，可实时获取的数据类别定义为药品名，在获得用户服用的药品名“仙灵骨葆胶囊”后，利用如下查询模式确定个性化内容关键概念：

MATCH (p : {name:"仙灵骨葆胶囊"})-[a]->(n: 病情)

RETURN n

之后利用获取的概念对推荐文章进行筛选，如果推荐的文章与“骨质疏松”等病情相关，即为该用户推荐，完全不相关则不推荐给用户。

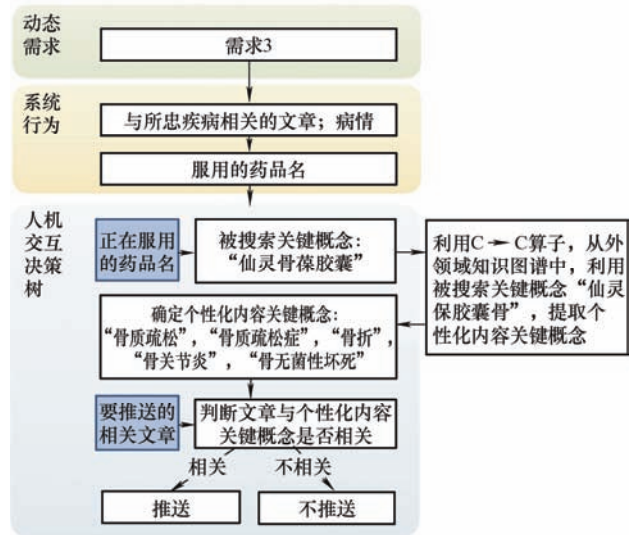


图 16 针对需求 3 的人机交互决策树构建流程

4 结论

本文提出了一种新的基于知识图谱的交互设计方法，以支持智能产品服务系统的设计。本文的主要贡献包括：

(1) 现有关于智能产品服务系统设计的研究大多从用户需求获取与转化的角度展开。然而在实际的智能产品服务系统环境中，有大量的数据/知识被系统收集与整合，更需要一个基于本领域与外领域知识的、考虑实时用户数据的智能产品服务系统交互设计方法。本文利用用户体验五要素作为构建本领域知识图谱的架构，将交互设计本领域知识与其他外领域知识进行结合，以支持智能产品服务系统的交互设计。

(2) 智能产品服务系统的用户需求包含了大量需通过人机交互满足的用户需求，为帮助设计人员构思、描述智能产品服务系统如何与用户完成交流互动，本文基于传统的决策树图形提出了一种新的设计工具，即人机交互决策树。人机交互决策树可用于梳理设计者自身思路以及与设计团队/研发团队进行沟通。

此外，本文也存在一定的局限性，如：应用案例中构建的外领域知识图谱节点较少。

参考文献

- [1] ZHENG P, WANG Z, CHEN C, et al. A survey of smart product-service systems: Key aspects, challenges and future perspectives[J]. Advanced Engineering Informatics, 2019, 42: 100973.
- [2] TUKKER A, TISCHNER U. Product-services as a

- research field: past, present and future. Reflections from a decade of research[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14(17): 1552-1556.
- [3] MONT O K. Clarifying the concept of product-service system[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2002, 10(3): 237-245.
- [4] ZHENG P, LIN T, CHEN C, et al. A systematic design approach for service innovation of smart product-service systems[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 201: 657-667.
- [5] LEE J. Smart products and service systems for e-business transformation[J]. *International Journal of Technology Management*, 2003, 26(1): 33-38.
- [6] MICHAEL K, ROUSSOS G, HUANG G Q, et al. Planetary-scale RFID services in an age of uberveillance[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2010, 8(9): 1663-1671.
- [7] VALENCIA A, MUGGE R, SCHOORMANS J P L, et al. The design of smart product-service systems (PSSs): An exploration of design characteristics[J]. *International Journal of Design*, 2015, 9(1): 13-28.
- [8] WU C, CHEN T, LI Z, et al. A function-oriented optimising approach for smart product service systems at the conceptual design stage: A perspective from the digital twin framework[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 297: 126597.
- [9] ZHENG P, LIU Y, TAO F, et al. Smart product-service systems solution design via hybrid crowd sensing approach[J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 128463-128473.
- [10] YANG X, WANG R, TANG C, et al. Emotional design for smart product-service system: a case study on smart beds[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 298: 126823.
- [11] CHEN Z, LU M, MING X, et al. Explore and evaluate innovative value propositions for smart product service system: a novel graphics-based rough-fuzzy DEMATEL method[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 243: 118672.
- [12] CONG J, CHEN C, ZHENG P, et al. A holistic relook at engineering design methodologies for smart product-service systems development[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 272: 122737.
- [13] BU L, CHEN C, KAM K H, et al. A user-centric design approach for smart product-service systems using virtual reality: a case study[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 280(Pt 2): 124413.
- [14] CONG J, CHEN C, ZHENG P. Design entropy theory: a new design methodology for smart PSS development[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2020, 45(C).
- [15] CHIU M, HUANG J, GUPTA S, et al. Developing a personalized recommendation system in a smart product service system based on unsupervised learning model[J]. *Computers in Industry*, 2021, 128(10): 103421.
- [16] 武春龙, 朱天明, 张鹏, 等. 基于功能模型和层次分析法的智能产品服务系统概念方案构建[J]. *中国机械工程*, 2020, 31(7): 853-864+870.
- WU Chunlong, ZHU Tianming, ZHANG Peng, et al. Conceptual scheme construction of smart PSS based on functional model and AHP[J]. *China Mechanical Engineering*, 2020, 31(7): 853-864+870.
- [17] SHNEIDERMAN B. Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction[J]. *Journal of the Association for Information Science & Technology*, 1988, 39(1): 603-604.
- [18] 马超民. 可供性视角下的交互设计研究[D].长沙: 湖南大学, 2016.
- MA Chaomin. The interaction design research: a concept of affordance perspective [D]. Changsha: Hunan University, 2016.
- [19] 陈媛媛. 基于活动的情境感知模型与情境感知交互设计[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
- CHEN Yuanyuan. Activity-based context awareness model and context awareness interaction design[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013.
- [20] WANG Z, CHEN C, PAI Z, et al. A graph-based context-aware requirement elicitation approach in smart product-service systems[J]. *International Journal of Production Research*, 2019, 59(2).
- [21] CHANG D, GU Z, LI F, et al. A user-centric smart product-service system development approach: a case study on medication management for the elderly[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2019, 42: 100979.
- [22] 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): 27-31.
- QIN Jingyan. Impaction of artificial intelligence on interaction design[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(20): 27-31.
- [23] 罗仕鉴, 翁建广. 产品设计中基于群体文化学的隐性知识表达[J]. *机械工程学报*, 2008, 44(4): 15-20.
- LUO Shijian, WENG Jianguang. Patterns of tacit knowledge based on ethnography in product design[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2008, 44(4):

- 15-20.
- [24] 罗仕鉴, 潘云鹤, 朱上上. 产品设计中基于图解思维的隐性知识表达[J]. 机械工程学报, 2007, 43(6): 93-98.
- LUO Shijian, PAN Yunhe, ZHU Shangshang. Patterns of tacit knowledge based on graphic thinking in product design[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(6): 93-98.
- [25] WATANABE K, OKUMA T, TAKENAKA T. Evolutionary design framework for Smart PSS: Service engineering approach[J]. Advanced Engineering Informatics, 2020, 45(C): 101119.
- [26] KARIDI D P, STAVRAKAS Y, VASSILIOU Y. Tweet and followee personalized recommendations based on knowledge graphs[J]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2018, 9(6): 2035-2049.
- [27] 张栋豪, 刘振宇, 郝维强, 等. 知识图谱在智能制造领域的研究现状及其应用前景综述[J]. 机械工程学报, 2021, 57(5): 90-113.
- ZHANG Donghao, LIU Zhenyu, JIA Weiqiang, et al. A review on knowledge graph and its application prospects to intelligent manufacturing[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2021, 57(5): 90-113.
- [28] LI X, CHEN C, ZHENG P, et al. A knowledge graph-Aided concept-knowledge approach for evolutionary smart product-service system development[J]. Journal of Mechanical Design, 2020, 142(10): 101403.
- [29] MASSON P L, HATCHUEL A, KOKSHAGINA O, et al. Designing techniques for systemic impact: lessons from C-K theory and matroid structures[J]. Research in Engineering Design, 2017, 28(3): 275-298.
- [30] HATCHUEL A, WEIL B. C-K design theory: an advanced formulation[J]. Research in Engineering Design, 2009, 19(4): 181-192.
- [31] HATCHUEL A, MASSON P L, WEIL B. Teaching innovative design reasoning: How concept-knowledge theory can help overcome fixation effects[J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2011, 25(1): 77-92.
- [32] 刘晓敏, 罗林辉, 陈亮, 等. 基于 C-K 理论的产品仿生创新设计研究[J]. 机械工程学报, 2020, 56(13): 207-217.
- LIU Xiaomin, LUO Linhui, CHEN Liang, et al. Research on bio-inspired design based on C-K theory for product innovation[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2020, 56(13): 207-217.
- [33] HATCHUEL A, WEIL B, MASSON P L. Towards an ontology of design: lessons from C-K design theory and Forcing[J]. Research in Engineering Design, 2013, 24(2): 147-163.
- [34] GARRETT J J. The elements of user experience: user-centered design for the web and beyond[M]. USA: New Riders, 2010.
- [35] PAN J Z, VETERE G, PEREZ J M, et al. Exploiting linked data and knowledge graphs in large organisations[M]. Switzerland: Springer, 2017.
- [36] SUN Y, WANG S, LI Y, et al. ERNIE 2.0: A continual pre-training framework for language understanding[C]. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, USA: Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 2020: 8968-8975.

作者简介: 从靖晨, 女, 1990 年出生, 博士研究生。主要研究方向为智能产品服务系统方案设计。

E-mail: congjingchen@tju.edu.cn

项忠霞(通信作者), 女, 1964 年出生, 博士, 教授。主要研究方向为机械设计与理论、人体生物力学、康复机器人设计理论等。

E-mail: xiangzhx@tju.edu.cn