

面向设计过程的情境建模与研究

孙辉, 吕健, 寸文哲

(贵州大学 现代制造技术教育部重点实验室, 贵阳 550025)

摘要: **目的** 解决产品设计过程中知识获取不完善及设计过程表征不能满足用户需求的问题。**方法** 针对设计过程,从知识获取、知识物化和特征验证等方面,剖析用户知识在设计过程情境中的行为逻辑,提出一种面向设计过程的情境建模方法。基于可拓基元概念,知识获取情境将用户信息转化为需求基元;知识物化情境将需求基元与设计思维进行融合,形成概念方案。**结果** 利用验证情境模型判断特征元素是否满足设计需求,从而使产品设计方案达到效能的最大化。**结论** 基于物流分拣设备设计过程的研究,对设计情境模型进行实例验证,其产品的特征得到了高效的表达,完善了产品设计的方案,验证了该方案的可行性。

关键词: 设计过程;情境建模;知识;特征验证;可拓基元

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)04-0227-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.04.037

Situational Modeling and Research for Design Process

SUN Hui, LYU Jian, CUN Wen-zhe

(Key Laboratory of Advanced Manufacturing Technology, Ministry of Education,
Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem that incomplete knowledge acquisition and design process representation cannot meet the needs of users in the process of product design. From the aspects of knowledge acquisition, knowledge materialization and feature verification, the behavioral logic of user knowledge in the situation of design process for design process was analyzed, and a situational modeling method oriented to design process was proposed. Based on the concept of extension primitives, the knowledge acquisition situation transformed user information into the requirement primitives. Then, the requirement primitives and design thinking in the situation of knowledge materialization were integrated to form conceptual scheme. The verification context model was used to determine whether the feature elements met the design requirements, so as to maximize the efficiency of product design scheme. Based on the research of design process of the logistics sorting equipment, the design situation model is validated by examples, the characteristics of the products are efficiently expressed, the product design scheme is improved, and the feasibility of the scheme is verified.

KEY WORDS: design process; situational model; knowledge; feature verification; extension primitives

随着信息产业和制造业的发展,人们在充分享受产品在功能上带来便利的同时,开始更加关注产品提供的服务。以往产品设计除考虑产品功能外,更多关注产品外观能否取悦消费者。而现在以用户需求为中

心的产品体验式服务得到了广泛的研究和应用,尤其是在设计领域,知识的获取、表征、物化和特征验证成为该领域的研究重点。设计的核心由有形的外观逐渐跨度到无形的体验式服务中。

收稿日期: 2018-10-19

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔教研合 JYSZ 字[2014]004, 黔科合 LH 字[2014]7644, 黔科合 LH 字[2014]7645); 贵州大学研究生创新性基金(研理工 2017038, 研理工 2017040)

作者简介: 孙辉(1990—),男,山东人,贵州大学硕士生,主攻信息与交互设计。

通信作者: 吕健(1983—),男,河北人,博士,贵州大学副教授,主要研究方向为认知设计、交互设计。

构建设计情境模型的方法得到了该领域学者的广泛重视。张军等人^[1]借鉴心理学的思想,提出了一套定性和定量相结合的设计知识获取、表达和建模的方法。张发平等人^[2]针对产品设计过程中知识重用的需求,提出了一种基于多维层次的知识推送方法。李荟等人^[3]提出了知识融合情境的方式,分析了情境维度、情境空间、情境树和情境节点模型等概念,研究了知识模型构建技术、情境的识别获取技术和集成情境的知识检索获取技术。刘征等人^[4]提出了一种构建知识地图的方法,通过对工业设计过程的调查分析,建立了具有不同抽象粒度的设计过程模型,搭建了知识地图框架。朱上上等人^[5]提出了支持产品视觉识别的产品族设计 DNA 研究方法,研究了产品视觉识别下产品族设计 DNA 的体系构建和关键技术。卢兆麟等人^[6]系统地总结了国内外产品设计 DNA 研究的现状与进展,介绍了表达结构、应用研究进展、关键技术及现有研究的不足,提出了产品设计 DNA 研究的热点与趋势。

从目前设计情境方法的研究进展来看,该方法普遍适用于各类产品设计过程的建模。物流分拣装备在其知识获取、需求表征、特征物化、方案验证等过程的模型表达,更加规范与明确。本文以设计过程表征作为研究对象,在用户知识挖掘的基础上,提出设计情境建模的方法。首先,通过获取设计知识形成信息基元;然后,通过信息分析和归纳,构建用户需求模型;最后,依据用户对原有产品的使用体验,构建特征验证情境,检验初始产品在不同验证情境中的效能,进而为设计提供有效的辅助和支持。

1 设计情境要素

设计情境是描述“提出问题—问题求解—解验证”的问题求解过程,在情境构建中正确挖掘用户和产品的关系,是该情境构建的关键。从设计心理学的角度分析发现,用户使用产品的操作方式以及用户对产品的态度等,影响产品的使用体验^[7-9],在产品使用过程中,用户更倾向于能够及时得到反馈的操作方式。

1.1 设计情境

从设计情境模型分析,“提出问题”是基于用户的使用感受和态度 A 提出的设计需求。产品特征是产品求解的结果,由产品的外在形态 C 和产品的操作流 S 来表达。操作流 S 包括用户的使用习惯 T 和产品的使用路径 E,前者强调用户的潜在行为动作,后者注重用户对产品的操作方式。由于产品所表达的 S 和 C 不一定符合产品实际使用中的需求,因此在情境模型中设计了验证情境 D,其包含技术情境和使用情境。后者注重产品在假设使用情境中的表现,并将获得的验证信息 F 反馈给设计者,重新定义产品。设计

框架见图 1。

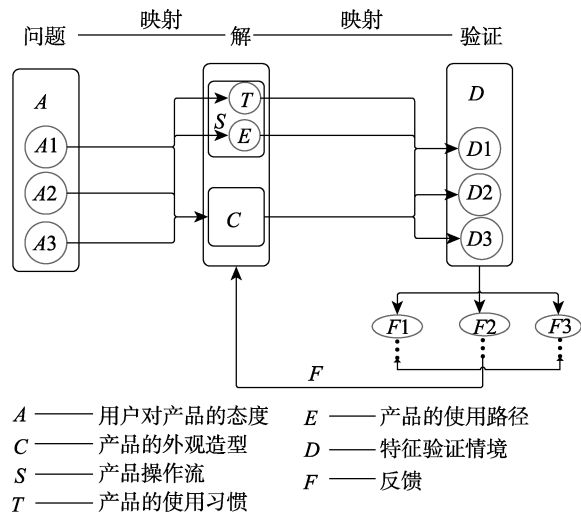


图 1 设计框架
Fig.1 Design framework

1.2 设计情境要素

设计情境模型包括 3 个设计要素：知识获取、知识物化和特征验证。以产品为载体,实现设计过程模型化构建的 3 个不同阶段,见图 2。

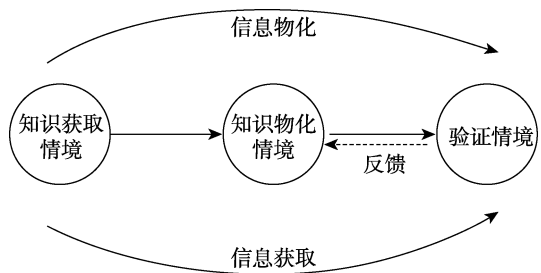


图 2 设计情境
Fig.2 Design situation

1) 知识获取要素。从用户需求出发,通过与用户的交流挖掘潜在需求的过程。同时对获取的产品信息进行分析、归纳,形成信息基元。

2) 知识物化要素。基于知识推理理论,结合设计者自身的感悟,将获取的知识物化为产品设计特征。依据用户需求融合特征方案,完成产品的设计。

3) 特征验证要素。结合产品当前的使用情境,以求解反馈的方式判断形成的产品特征是否符合实际需要。针对判断求解情境中的产品特征进行判断,通过模拟产品可能出现的使用情境,观察设计方案的表现,挖掘方案可能出现的问题,并将问题反馈给设计者,重新完善设计方案。

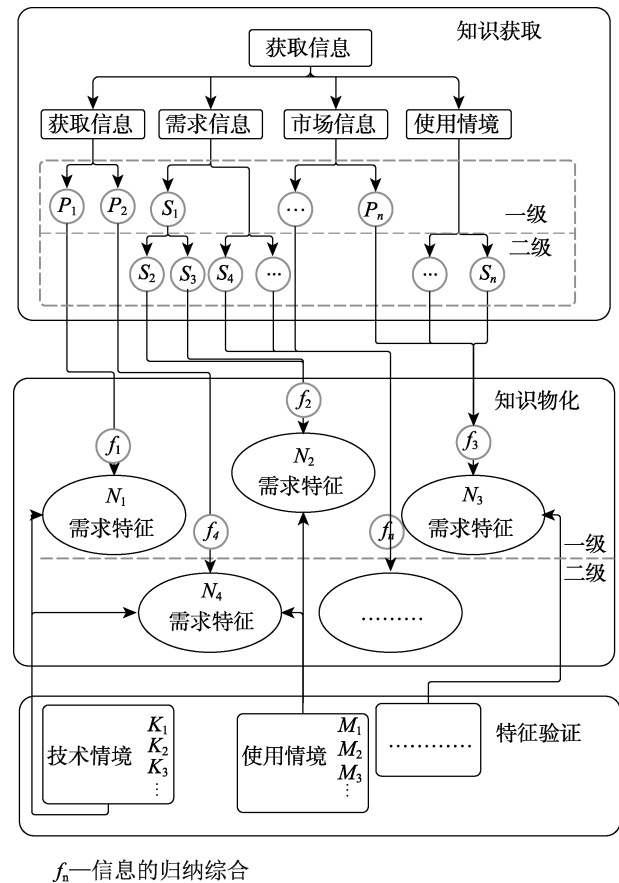
2 设计情境模型构建

设计情境模型是基于设计中的认知思维,以逻辑因素为对象构建的信息框架。情境模型包括模型框架

构建和模型信息构建两个部分。

2.1 设计情境模型框架构建

模型框架包括知识获取与分类、知识物化和特征验证 3 个部分，见图 3。



f_n —信息的归纳综合

图 3 设计情境模型框架
Fig.3 Framework of design context model

1) 知识获取。依据用户需求将设计知识划分为用户、需求、市场和技术。依据信息类别的不同归纳形成信息基元 P_n 、 S_n ，基于信息基元与用户需求之间相关性的不同，将获取的信息基元划分不同的等级。

2) 知识分析。描述设计者在获取信息基元的基础上进行思维创造的过程。设计者按照关系 f 分析、归纳信息基元，形成产品设计需求(N_n)。

3) 特征验证。针对初始设计方案进行详细的分析与优化，依据产品在情境中的使用体验，构建不同的设计验证情境 K_n 、 M_n 。针对物化形成的产品特征进行验证筛选，去除掉不符合实际需求的特征，将结果反馈给设计者。

情境模型的概念把知识的获取、归纳、验证等，统一在一个由对象、情境和变量组成的向量中，模型向量可以简单地表达为：

$$C_o = (C_p, C_q, C_i, T) \tag{1}$$

其中： C_o 为设计过程； C_p 为知识获取； C_q 为知

识物化； C_i 为特征验证； T 为过程参数。

2.2 设计情境模型信息构建

从设计方法学的角度进行分析^[10—11]，设计情境模型是问题求解并验证的过程，该过程融合设计者自身主观情感，并将这种感受物化形成产品方案。由此，设计的流程可以简单地表达为：获取知识、知识归纳、知识物化以及特征验证 4 个阶段，见图 4。

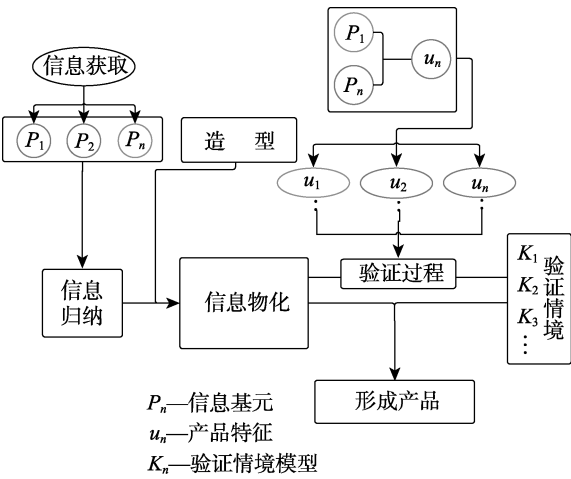


图 4 信息物化情境表达

Fig.4 Situational expression of information materialization

知识获取是情境模型构建的原点，设计者通过分析、归纳得到的设计知识 P_n 形成设计需求，融合产品外观因素将其物化为产品特征 u 。基于验证情境模型 K_n ，判断设计完成的产品特征是否满足用户对产品的期望，这是知识验证过程，同时也是设计思考与筛选的过程。

3 设计情境模型表征

设计情境模型是基于用户需求^[12]，以产品设计过程作为对象，将用户的感性需求加以形态化，从而完善设计方案的方法。由于传统的造型设计是通过设计师的主观感觉来形成设计方案，有时会因个人因素的限制趋向于局部最优，而非整体最优^[13—14]。设计情境模型作为将设计过程模型化的解决方案，通过构建验证情境模块，检验方案中产品特征是否满足产品需求，并寻找方案中存在的问题加以改进。

3.1 知识获取模型表征

从情境模型表征的角度分析，本文将产品知识划分为 4 种不同的种类， n 个信息基元，知识获取模型表征见图 5。

图 5 中 P 为不同知识类别下获取的知识基元，若 O 表示设计知识获取子模块， $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 表示信息特征。若获取产品知识的过程 $A_i(O)$ 事件发生时，有特征集为：

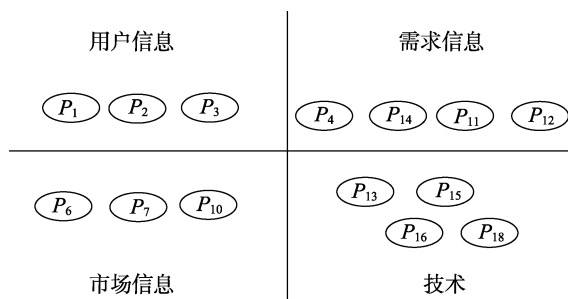


图 5 知识获取模型表征

Fig.5 Knowledge acquisition model representation

$$\{M_i\} = \{M_{ij}\} (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,k_i) \quad (2)$$

其中: $M_{ij} = (C_{ij}, V_{ij}) (V_{ij} = \langle a_{ij}, b_{ij} \rangle)$ 为事件 $A_i(O)$ 发生时, 关于 C_{ij} 获取的信息基元; V_{ij} 为设计要素。那么, 建立知识获取事件 O 可以表达为:

$$M_i = \begin{bmatrix} A_i(O), & c_{i1}, & v_{i1} \\ & c_{i2}, & v_{i2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{ik_i}, & v_{ik_i} \end{bmatrix} \quad (3)$$

获取信息后, 计算信息基元与产品需求的相关性大小, 并以此划定信息基元等级。进而构建更直观、更丰富的知识获取子模型, 实现对设计问题更精确的求解。

3.2 特征物化模型表达

在知识获取的基础上, 结合可拓基元表征方法, 对知识物化过程进行情境化建模, 该情境是设计思维创造并转化成产品的过程, 这一过程可以表达如下。

$$\text{若产品 } M_i = \begin{bmatrix} A_i(O), & c_{i1}, & v_{i1} \\ & c_{i2}, & v_{i2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{ik_i}, & v_{ik_i} \end{bmatrix}, \text{ 共用 } n \text{ 个特征}$$

$P_1, P_2, \dots, P_n$ 及其相应的信息基元, 用 $u(x_{i1}), u(x_{21}), \dots, u(x_{mi}) (i=1,2,\dots,n)$ 来描述, 那么产品的特征可以表示为:

$$E_{mn} = \begin{bmatrix} V_1 & V_2 & \dots & V_n \\ P_1 & u(x_{11}) & u(x_{21}) & u(x_{m1}) \\ P_1 & u(x_{11}) & u(x_{21}) & u(x_{m1}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_n & u(x_{1n}) & u(x_{2n}) & u(x_{mn}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中: E_{mn} 表示设计方案; $u(x_{mn})$ 表示信息基元; P_i 表示产品特征。

从情境模型的过程构建分析, 知识物化包含两部分: 一部分为知识特征的物化; 一部分为造型因素的物化。前者是对上一阶段形成的设计需求产品化表达, 这其中包括功能上以及加工制造中的需求; 后者

则是侧重对产品感官上的解读并加入设计者的主观感受。

3.3 验证模型表达

根据逻辑思维中“问题—求解—验证”机制, 初始方案的验证是该过程的重点。结合产品在实际使用中可能出现的情境, 构建产品使用虚拟场景, 判断初始方案是否满足需求。情境包含两部分: 一是产品操作情境; 二是产品物化技术。由于初始产品特征部分来源于用户对原有产品的使用体验, 因此, 操作情境是一种假设情境, 基于产品操作的边缘情况 (产品在使用过程中可能发生, 但一定存在的较小概率使用情境) 构建。

技术情境分为现有可实现技术、设计需要而现在没有但可以开发出来的技术和未来技术 3 个部分, 见图 6。

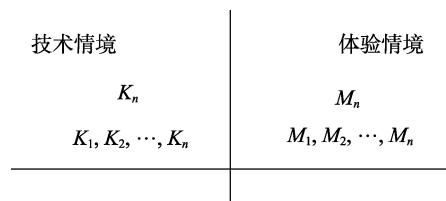


图 6 技术情境

Fig.6 Technical situation

以假定值 u_j 为基点, 定义初始产品每一个特征的相关度值。通过计算产品特征和均值之间的距离, 来判定产品特征是否需要保留。产品特征由 $[W_n]$ 表示; Q_i 、 T_i 、 U_i 表示 3 种不同验证情境; u 为特征相关度的均值; K 值描述符合需求的特征值到均值的标准距离; K 值以内为产品的充分必要特征, K 值以外的特征应当舍去。验证模型即可表达为:

$$W_n = \{(Q_i, T_i, U_i) \mid D(X)\} \quad (5)$$

其中: Q_i 为造型因数; T_i 为使用情境; U_i 为技术; $D(X)$ 为产品特征距离。

产品特征判断距离可以表达为:

$$D(X) = \sqrt{(X - u)^T S^{-1} (X - u)} \quad (6)$$

$$Q_i, x \in [0, 1]$$

$$T_i, x \in [1, 2]$$

$$U_i, x \in [2, 3]$$

其中: S 为描述产品特征样本向量的协方差; u 为均值向量; Q_i 、 T_i 、 U_i 分别描述不同情境的区间; i 即为特征在环境轴 X 上的坐标值; $D(X)$ 为特征值到样本均值的马哈拉诺比斯距离。当 $-K + (u - u_j) \leq D(X) \leq K - (u - u_j)$ 时, 产品特征符合设计需求, 否则判定产品特征不符合需求。

4 产品应用实例

基于产品信息丰富度和产品使用情境熟悉性,以物流分拣系统中的分拣设备作为应用实例。

4.1 获取分拣设备信息

依据企业文化和产品现状,通过和用户沟通交流获取设计知识,见图 7。

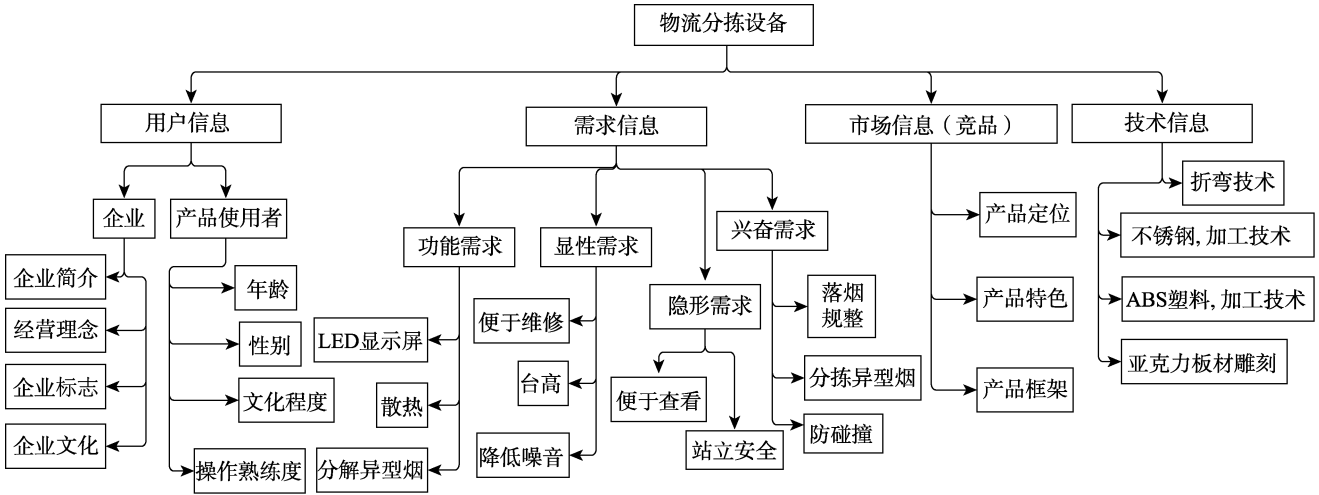


图 7 物流分拣设备知识获取模型
Fig.7 Knowledge acquisition model of logistics sorting equipment

4.2 设备知识物化

通过对获取的设计知识进行分析、归纳,依据设计需求给出设计策略。结合可拓学相关理论,针对分拣设备的主要设计问题构建产品特征物化模型,其可拓学形式表征为:

$$E_{mn}=(O,P_n,V_n)=$$

分拣设备	特征	
	色彩	企业标准配色
	显示技术	方便数据查看
	易学性	易于用户学习
	倾角设计	方便用户使用
	造型: 全包方式	体现机械美学

$$E_{mn}=(O,P_n,V_n)=$$

分拣设备	用户信息	
	企业logo	符号元素
	企业文化	意象融入
	学历	用户学习能力
	性别	针对用户群

$$E_{mn}=(O,P_n,V_n)=$$

分拣设备	需求信息	
	烟草种类显示	功能需要
	烟草数量显示	功能需要
	防碰撞	安全性
	降噪	工作环境
	散热需求	设备性能

$$E_{mn}=(O,P_n,V_n)=$$

分拣设备	市场、技术	
	国企用户	市场定位
	厂房室内	使用场景
	折弯	加工技术
	喷漆工艺	工艺

(7)

针对物流分拣设备特征,分析该设备的特征物化模型,设计完成初始方案。结合物流分拣设备给出产品设计特征,针对主要问题提出解决方案。分拣设备物化形成产品特征表征,见图 8。特征 1 为设备基座右边部分特征变化,特征 2 为设备顶部特征变化,特征 3 为设备侧面右轮廓特征变化,特征 4 为设备基座特征变化。通过组合设备不同部位的特征,物化形成设备设计方案,完成设计知识的物化过程。

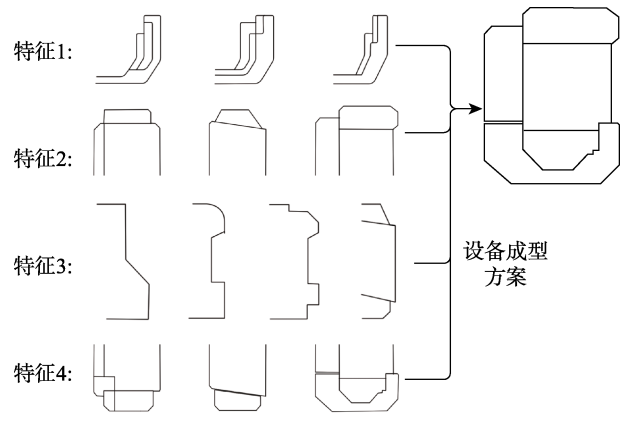


图 8 分拣设备特征表征
Fig.8 Characteristics representation of sorting equipment

4.3 设备特征验证

结合验证情境模型,对完成的初始产品进行验证判断,并将发现的设计问题反馈给设计者。分拣设备特征值见表 1,为分拣设备的设计特征相关性大小。

表 1 分拣设备特征值
Tab.1 Characteristic value of sorting equipment

产品特征	值	产品特征	值
台高: 900 mm	$P_1=0.5$	移动性	$P_9=0.2$
全包式造型	$P_2=0.7$	倾斜角度 (显示屏)	$P_{10}=-0.3$
易检修	$P_3=-0.1$	产品总高	$P_{11}=0.6$
LED 显示	$P_4=0.5$	毛玻璃材质	$P_{12}=-0.7$
茶色玻璃材质	$P_5=0.2$	开门方式(1)	$P_{13}=-0.4$
不锈钢材质	$P_6=1.2$	开门方式(2)	$P_{14}=0.1$
ABS 塑料(1)	$P_7=1.3$	螺钉连接	$P_{15}=1.4$
易学性	$P_8=0.2$		

依据分拣设备的特征值,本文结合马哈拉诺比斯距离公式,计算每一特征值到其均值的马哈拉诺比斯距离,结合用户需求判断设备特征能否满足设备的设计要求,分拣设备特征判断模型见图 9。

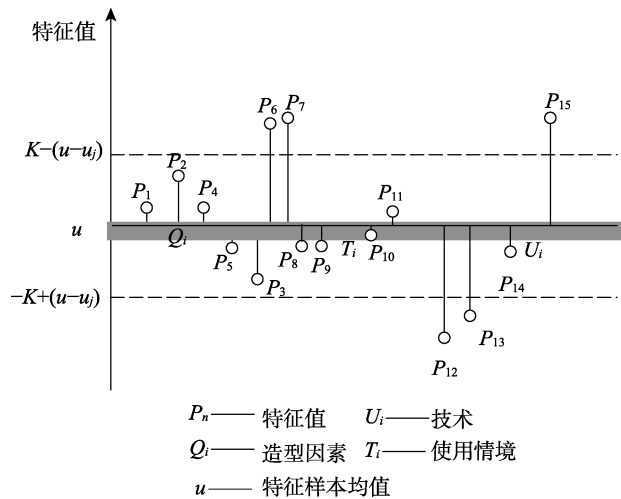


图 9 分拣设备特征判断模型

Fig.9 Judgment model of sorting equipment characteristics

依据图 9 特征模型, u 值为 0.35, 其中 P_6 、 P_7 、 P_{12} 、 P_{13} 、 P_{15} 共计 5 个设计特征不符合产品的实际使用需求,在设计方案中需要舍去。经修正后完成的设计方案,见图 10。

通过构建物流分拣设备的设计情境模型,完成相关产品的设计。结果表明,该设计方法取得预期效果。该设计获得了企业的高度认可并得到了一致的好评,产品的成功投产上市很好地验证了设计情境模型的可行性。



图 10 物流分拣设备设计模型

Fig.10 Design model of logistics sorting equipment

5 结语

从用户的感性需求出发,应用故事板块构建的方法进行设计过程情境模型的构建。结合可拓设计学和故事情境这两个领域的研究作为基础,结合相关的实验研究提出设计情境模型,针对设计过程和形态物化进行了研究。

在研究中发现,设计需求获取和信息分析、归纳的过程较为复杂,其中涉及到设计特征相关性的表达、判定和设计知识物化等,这一过程中仍有许多问题尚待解决。例如,设计特征和用户需求的相关性计算,用户模型的创建等,这些问题还需进一步研究。

参考文献:

[1] 张军. 基于知识的复杂产品工业设计辅助系统的研究与应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
ZHANG Jun. Research and Application of Industrial Design Aided System Based on Knowledge and Complex Products[D]. Changcha: Hunan University, 2013.

[2] 张发平, 李丽. 基于多维层次情境模型的业务过程知识推送方法研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2017, 29(4): 751—758.
ZHANG Fa-ping, LI Li. Research on Knowledge Push Method for Business Process Based on Multidimensional Hierarchical Context Model[J]. Journal of Computer-aided Design and Graphics, 2017, 29(4): 751—758.

[3] 李荟, 谢强, 丁秋林. 基于情景的主动知识需求建模研究[J]. 计算机与数字工程, 2014, 42(4): 627—631.
LI Hui, XIE Qiang, DING Qiu-lin. Proactive Knowledge Requirement Modeling Based on Scenario[J]. Computer & Digital Engineering, 2014, 42(4): 627—631.

[4] 刘征, 孙凌云, 鲁娜. 面向过程的工业设计知识地图

- 构建[J]. 机械工程学报, 2010, 46(8): 181—187.
- LIU Zheng, SUN Ling-yun, LU Na. Construction of Process-oriented Industrial Design Knowledge Map[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(8): 181—187.
- [5] 朱上上, 罗仕鉴, 应放天, 等. 支持产品视觉识别的产品族设计 DNA[J]. 浙江大学学报(工学版), 2010, 44(4): 715—721.
- ZHU Shang-shang, LUO Shi-jian, YING Fang-tian, et al. Product Family Design DNA Which Can Support Product Visual Identification[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Edition), 2010, 44(4): 715—721.
- [6] 卢兆麟, 李升波, 张悦, 等. 面向工业设计的产品设计 DNA 研究现状与进展[J]. 机械设计, 2014(12): 1—7.
- LU Zhao-lin, LI Sheng-bo, ZHANG Yue, et al. Product Design DNA Research Status and Progress Oriented on Industrial Design[J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(12): 1—7.
- [7] 潘旭伟, 祝锡永, 李娜. 在情境中实现知识管理[J]. 图书情报工作, 2011, 55(4): 95—99.
- PAN Xu-wei, ZHU Xi-yong, LI Na. Implementing Knowledge Management in Context[J]. Library & Information Service, 2011, 55(4): 95—99.
- [8] 罗仕鉴, 朱上上, 应放天, 等. 产品设计中的用户隐性知识研究现状与进展[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(4): 673—688.
- LUO Shi-jian, ZHU Shang-shang, YING Fang-tian, et al. Statues and Progress of Research on Users' Tacit Knowledge in Product Design[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(4): 673—688.
- [9] 罗仕鉴, 朱上上, 应放天, 等. 手机界面中基于情境的用户体验设计[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(2): 239—248.
- LUO Shi-jian, ZHU Shang-shang, YING Fang-tian, et al. Scenario-based User Experience Design in Mobile Phone Interface[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(2): 239—248.
- [10] 陈孟文. 不确定环境下生产计划和生产调度集成建模与优化技术研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2015.
- CHEN Meng-wen. Modeling and Optimization of Integrated Planning and Scheduling Under Uncertain[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2015.
- [11] WU M C, LO Y F, HSU S H. A Fuzzy CBR Technique for Generating Product Ideas[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34(1): 530—540.
- [12] GHAFURIAN S, JAVADIAN N. An Ant Colony Algorithm for Solving Fixed Destination Multi-Depot Multiple Traveling Salesmen Problems[J]. Applied Soft Computing, 2011, 11(1): 1256—1262.
- [13] SU Jian-ning, ZHANG Qin-wei, ZHANG Shu-tao, et al. Development of Product Image Modeling Evolutionary Design[J]. Journal of Machine Design, 2014(2): 97—102.
- [14] NARANJE V, KUMAR S. A Knowledge Based System for Automated Design of Deep Drawing Die for Axisymmetric Parts[M]. Springer Singapore, 2017.