

协同创新团队设计资源优选匹配策略研究

杨梅, 郭皓月, 侯幸刚, 李雪瑞

(山东科技大学艺术学院 工业设计系, 山东 青岛 266590)

摘要: **目的** 针对面向服务的虚拟协同创新环境下团队成员的优选决策问题, 提出一种能力驱动的基于设计资源综合表现信息的优选方法。 **方法** 从设计任务工作流程入手, 分析了基于设计能力及任务粒度的设计任务的优化与重组。综合考虑设计资源的个人信息、协同合作能力、利益追求等信息, 构建了基于综合表现信息的优选指标体系及资源与任务的匹配模型, 采用综合线性计算的方式进行最优解的求解。 **结果** 将该方法应用于某拖拉机的 CMF 设计开发任务的资源优选中, 验证了所提方法的可行性和有效性。 **结论** 能力驱动的基于资源综合表现信息的优选与匹配策略, 可有效地发挥资源的优势, 并提高匹配的科学性。

关键词: 资源优选; 协同创新; 虚拟团队; 任务分解; 匹配策略

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)10-0265-11

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.10.032

Optimal Matching Strategy of Design Resources of Collaborative Innovation Team

YANG Mei, GUO Hao-yue, HOU Xing-gang, LI Xue-rui

(Department of Industrial Design, College of Arts, Shandong University of Science and Technology,
Shandong Qingdao 266590, China)

ABSTRACT: The paper aims to propose a competency-driven preference method based on comprehensive performance information of design resources to solve the problem of the preference decision of team members in a service-oriented virtual collaborative innovation environment. Starting from the design task workflow, the optimization and reorganization of design tasks based on design capabilities and task granularity are analyzed. Taking into account the personal information of design resources, collaborative ability and interest pursuit, the optimization index system based on comprehensive performance information and the matching model of resources and tasks are constructed, and the optimal solution is gained by means of comprehensive linear calculation. The method is applied to the resource selection of a tractor's CMF design and development task, and the feasibility and effectiveness of the proposed method are verified. The capability-driven optimization and matching strategy based on the comprehensive performance information of resources can effectively exploit the advantages of resources and improve the scientific of matching.

KEY WORDS: resource optimization; collaborative innovation; virtual team; task decomposition; matching strategy

随着网络理论和创新集群理论的发展, 商界和学术界都对各类创新网络产生了浓厚的兴趣。经历此次疫情的洗礼, 全球已进入协同创新时代, 在设计过程中如何实现设计资源的最优化分配直接关系到企业协同创新的效率性及成功性, 如何选择最佳的制造资

源来完成特定的制造任务一直是协同创新过程中的一个关键问题^[1]。当前, 已有不少学者针对设计资源的分配活动进行了研究。李雪瑞^[2]提出了应用贪心算法的匹配策略, 对设计任务与设计资源相关度二分图进行了优化匹配, 得到了最优化的匹配结果; 陈友玲

收稿日期: 2022-01-04

基金项目: 设计学专业群专业主干课程教学团队项目 (JXTD20170509); 2021 年山东省研究生教育质量提升计划专业学位研究生教学案例库建设项目 (2021MFA1355)

作者简介: 杨梅 (1973—), 女, 硕士, 教授, 主要研究方向为产品设计理论及其实践。

等^[3]针对云制造环境下资源服务组合优选问题,提出一种具有继承性和跳跃基因的带精英策略的快速非支配排序遗传算法;Zheng等^[4]提出了一种基于设计偏好的服务质量描述模型和基于模糊理论的QoS计算模型,该模型能够帮助需求方获得最优的制造服务。现有学者的研究多以设计任务为驱动,从而实现任务与资源的单一匹配,但是在实际操作过程中单个任务可能需要多个资源完成,单个资源也可应用于多任务中。在多个设计资源重要度不同的任务中,如何实现最优的资源匹配也值得学者进一步研究。笔者提出一种以设计资源所具备的能力作为设计任务驱动,进行多个设计资源与任务的优选匹配的方法,以实现1+1>2的团队效果。

1 设计资源与任务优选匹配策略

任务分解优化是产品协同创意设计过程中的重要环节。任务粒度指任务单元的相对大小或粗糙程度,各粒度之间有清晰的边界,彼此之间具有明确的信息交互或者介质传递^[5]。如何通过合理的任务分解和优化重组来降低任务的繁杂程度和粒度,把设计任务合理分解成粒度适宜、便于协同完成的设计子任务是企业提高协同创新效率的关键。笔者将设计资源的能力评价作为设计资源优选的前提,按照设计任务所需要的设计能力进行任务的分解与重组,利用资源匹配方法来实现设计资源与设计任务的优选匹配,提出的匹配策略见图1。

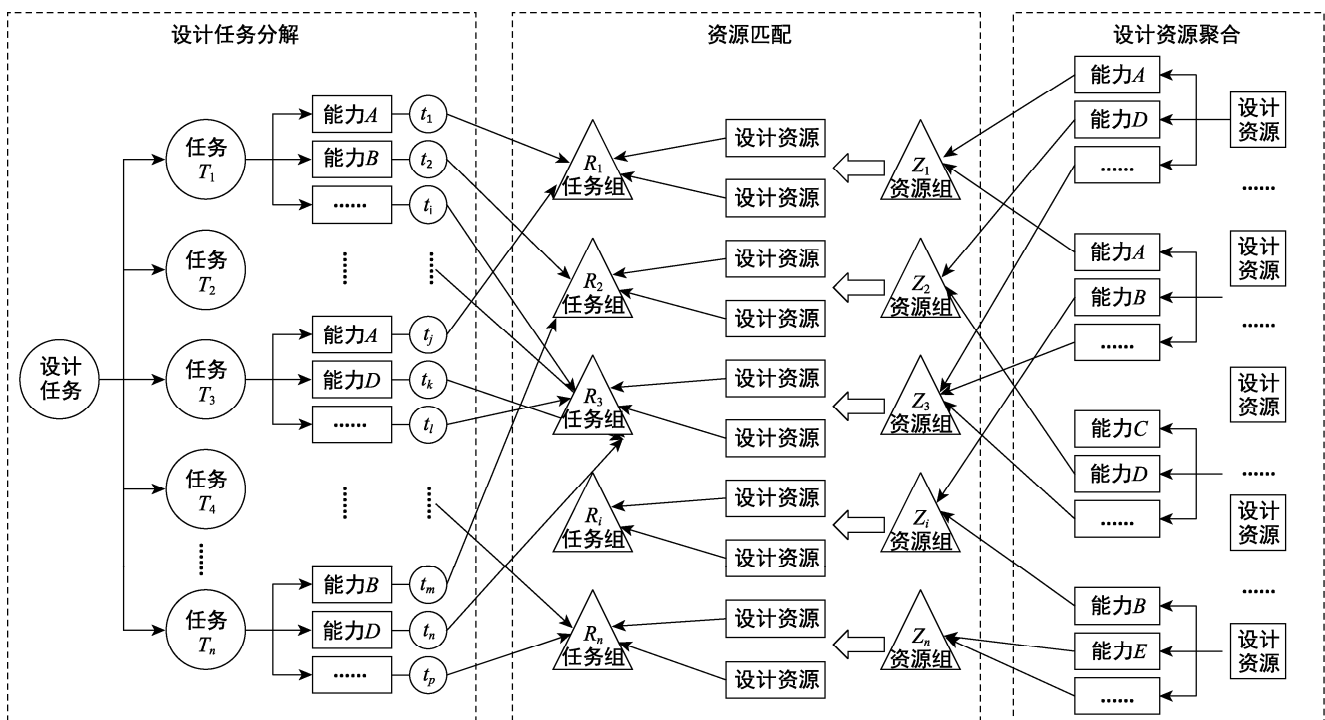


图1 任务—资源优选匹配策略
Fig.1 Task-Resource preference matching strategy

首先将设计任务按照标准的企业产品设计流程进行任务的初步分解,在任务初步分解完成后对每个设计任务按照所需要的设计能力进行分析,并将需要相同设计能力的任务进行二次合并组成粒度最小的设计子任务组。其次,需要对设计资源所具备的能力进行汇总,将具备相同设计能力的资源组成临时的资源组。最后,将代表相同设计能力的资源组与任务组进行匹配,并在考虑组内成员能力、协同创新能力等方面的情况下,获取任务与资源匹配的最优解。

2 设计资源优选匹配模型

2.1 虚拟团队介绍

文章中所提到的设计资源主要指用于构建协同

创新虚拟团队的备选成员。团队成员需要拥有设计所需的设计知识与能力,能够实现自我组织与管理,共同实现虚拟团队协同创新设计任务^[6]。其中设计资源主体包括个人设计师、设计团队、设计公司、企业设计部门以及其他设计主体。

企业产品创意协同创新虚拟团队,在本质上是一个拥有有限资源、知识与行为并发的社会组织^[7]。团队的组成成员之间在明确自身角色的前提下进行协作。在企业产品创新设计、协同创新过程中,要求单个成员独自完成复杂性高、子任务繁多的设计任务是不现实的,往往需要多个成员协作完成,团队成员由于共同的利益驱使组建联盟,形成团队^[8]。协同创新团队中每个设计资源具备不同的设计能力,需要不同资源能力的子任务对应的团队称为子团队,子团队之间可

以相互交叉联系, 一个成员也可同时属于多个子团队。

2.2 设计资源优选指标

定义设计资源并构建设计资源评价指标, 是实现设计资源优选与高效匹配的基础^[9]。对于特定的设计任务, 选择合适的设计资源才能最大化地发挥设计资源的潜力, 避免资源的浪费。在产品创意设计协同创

新过程中, 为实现资源与任务的最优匹配, 设计资源的能力评估是十分重要的^[10]。文章以设计任务与资源的能力为匹配原则, 从定性与定量 2 个方面综合考虑, 在考虑设计资源的个人能力及协同合作能力的基础上, 对资源自身的利益追求、任务权重、资源的质量阈值等方面进行思考研究。根据以上需求制定协同创新虚拟团队的资源优选体系, 见表 1。

表 1 协同创新虚拟团队的资源优选指标体系
Tab.1 Resource preference index system of collaborative innovation virtual team

一级指标	二级指标	含义及获取方式
个人能力 U	个人影响力 u_1	在本领域的设计影响力, 由工作年限及参与设计作品决定, 统计获得
	专业能力 u_2	解决问题的专业能力, 由专家对其参与设计使用的技能及质量综合考虑获得分值
	任务知识 u_3	所掌握的设计知识, 由数据库中设计资源及以往参加任务所使用的技能统计得到
协同合作能力 C	交流表达能力 c_1	团队内部想法交流表达, 由数据库中以往协作团队成员打分获得
	优化调度能力 c_2	最大限度地发挥资源效益, 由数据库中设计资源以往设计过程合作次数、合作效率、合作质量等方面综合考虑得出
	组织管理能力 c_3	合理高效的资源管理与应用, 由以往在设计任务中担任项目领导的次数、项目参与质量、项目完成质量等多指标综合考核
任务权重 W	子任务权重 w	任务的重要程度, 由具备相关项目经验的专家给出
自身利益 V	自身利益 v	自身的利益追求, 由设计资源对自身评价打分得到
资源阈值 Z	资源阈值 z	设计资源对任务的完成程度, 由专家对资源评价得到

在上述需要进行打分获取数值的操作中, 让专家或成员自身根据他们对各种能力的了解来判断其各种价值的大小。同时为了避免打分过程中存在的主观性较强的问题, 引入直觉模糊集, 在考虑决策专家重要度和评定过程犹豫度的基础上, 对决策专家打分的语言模糊程度进行准确量化。直觉模糊集是对模糊集理论的一种扩展, 其最大特点是同时考虑了隶属度、非隶属度和犹豫度的信息, 可以更加精确描述客观世界的模糊性本质, 在处理模糊性与不确定性问题时更加灵活实用^[11]。决策专家对设计团队成员的优选评定以打分的形式进行, 并将决策专家的语言变量转化为直觉模糊数, 见表 2。

表 2 语言变量对应的直觉模糊数
Tab.2 Intuitionistic fuzzy numbers corresponding to linguistic variables

语言变量	直觉模糊数
很好	(0.95, 0.05, 0.00)
较好	(0.75, 0.15, 0.10)
中等	(0.50, 0.40, 0.10)
较差	(0.25, 0.65, 0.10)
差	(0.05, 0.95, 0.00)

用 $W_k^{(j)}(x_i) = (\mu(x_i), \nu(x_i), \pi(x_i))$ 表示第 k 名专家对编号为 j 的成员的设计能力 x_i 的评价得分, 为保证最

终数据的客观性, 利用式 (1) 计算成员 j 的得分的平均算子 $\bar{W}^{(j)}(x_i)$, 将其作为该用户对该成员的设计能力 x_i 的直觉模糊数, 并利用式 (2) 将式 (1) 计算得到的平均算子转换为实数, 用符号 $\lambda_j(x_i)$ 表示成员 j 的设计能力 x_i 的得分数值。

$$\bar{W}^{(j)}(x_i) = (\bar{\mu}(x), \bar{\nu}(x), \bar{\pi}(x)) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m W_k^{(j)}(x_i) \quad (1)$$

$$\lambda_j(x_i) = \bar{\mu}(x) + \bar{\pi}(x) \left(\frac{\bar{\mu}(x)}{\bar{\mu}(x) + \bar{\nu}(x)} \right) \quad (2)$$

2.3 设计任务分解

定义任务组为 $T_p = \langle j, d \rangle$, 其中 j 为任务组中所包含子任务的编号; d 为此任务组所需要的设计能力; p 为子任务组的编号。

2.4 设计资源优选模型

2.4.1 基于个人能力的资源选择模型

假设此次的设计团队共有 n 个备用设计成员组成设计资源库, 定义资源组为 $G = \langle Si, d \rangle$, 其中 Si ($0 < i < n$) 为设计资源的编号。根据表 1 所分析的个人能力指标集 $U = \{u_g \mid g = 1, 2, 3\}$, 采用专家打分及数据统计的方法, 得到任务组所需设计资源组内成员的评价矩阵:

$$B_p = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{1i} & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & b_{mi} & b_{mn} \end{bmatrix}$$

式中： m 为该设计资源内部包含的设计资源的数量；列数 n 为表1中个人能力的二级指标数目。

2.4.2 基于个人利益的权重分配

虚拟团队成员会拥有不同的设计偏爱^[12]，由每个成员针对自己的设计能力提供不同的符合自己利益的权重，以此来表达成员对业务的偏向，并发挥设计资源自身最大的设计效率。依据不同的业务，设计资源给出自己利益追求的权向量：

$$V_i = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_k)^T \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^k v_i = 1, 0 < v_i < 1 \quad (4)$$

式(3)与式(4)中 i 为设计资源的编号； k 为单个设计资源的个人能力数量。

每个设计成员在综合考虑自身利益评价后给出自身的权重，当出现某一任务会给自己带来巨大利益时会故意加大自身权重，但是同时又会受到式(4)条件的限制，那么成员又会重新均衡自己每项设计能力的权重，调整出最符合自身利益的权重分配，最终的权重分配也会回归理性，这也符合激励相容的原则^[13]。另外，在选择设计资源时，需要考虑每个设计资源单独提供的向量，还要考虑其他成员的协同绩效，由该资源组内所有设计资源来决定最终的权重分布。首先形成每个资源组内的权重分布矩阵：

$$V_{m \times 3} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{1i} & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & v_{mi} & v_{mn} \end{bmatrix}$$

团队内成员共同决定最终的权重分布，笔者取其平均值进行计算：

$$E_p = (e_1, e_2, e_3 \dots e_n)^T \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^k e_i = 1, 0 < e_i < 1 \quad (6)$$

式中： $e_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^3 v_{ij}$ ； v_{ij} 为第 i 个成员对第 j 个指标的评分。

最终通过线性加权矩阵计算得到虚拟团队设计成员基于个人能力与自身利益追求的综合表现结果：

$$\varphi_p = \sum_{i=1}^m E_p B_p \quad (0 < i < m) \quad (7)$$

2.4.3 设计资源分配阈值问题

阈值是一个领域或一个系统规定的界限^[14]。设计资源分配阈值指在产品创意设计多任务分配过程中，设计资源能否对所分配任务实现较高程度的完成度。

在矩阵 φ_p 中， φ_{ij} 为设计资源 i 对设计子任务 j 的完成程度。阈值的最大值为1、最小值为0，只有符合在阈值一定范围内的设计资源才能成为此项设计任务的备选资源之一，具体是否被选中则由设计资源的协同合作能力来决定。设计资源分配阈值用符号 Γ 表示，其大小由设计任务相关专家共同分析决定。

2.4.4 基于协同能力的资源选择模型

在已经通过个人设计能力及设计阈值的设计资源，必须对其协同合作能力进行考察，必须考虑各个设计资源在以往的工作或者合作过程中是否拥有良好的沟通协作关系^[15]。几个富有合作经验并有着完美默契的成员在一起，可以使工作更加轻松、高效。团队成员之间只有保持良好的协同创新，才能确保产品创意设计过程中各部门的流畅合作，确保整个团队顺利运行，从而提高设计效率。

按照表1中分析的设计资源将协同合作指标集定义为 $C = \{C_g | g = 1, 2, 3\}$ ，根据设计资源之间的合作关系建立设计资源之间的协同合作矩阵 H ，借用MATLAB软件根据式(8)计算设计资源基于个人能力与协同能力的综合排名：

$$Q_p = \sum_{i=1}^f \varphi_p H_p \quad (8)$$

$$H_p = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1f} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2f} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{f1} & h_{f2} & \cdots & h_{ff} \end{bmatrix}$$

其中 f 为经过个人能力与设计阈值筛选的可用于此设计子任务的设计资源人数。

按照择优原则，优先选择协同合作能力排名靠前的设计资源进行此子任务的设计。至于需要的设计资源的数目，则由任务的权重大小决定。

2.4.5 任务权重问题

在虚拟团队进行产品创意设计任务过程中，难免会出现因为每个任务组资源分配不均而引起的不必要的内部矛盾等问题^[16]。同时同一个设计资源会拥有不同的设计能力，在上述的资源与任务的匹配模型下，可能会出现被多个任务组同时选择的问题，此时就需要对设计任务进行权重分析，给不同权重的设计子任务分配不同的设计资源。按任务权重比例分配资源，实现设计资源的无冗余、无闲置，从而充分发挥每个设计资源的最大潜力。当出现同时选中问题时，也按照权重大优先分配的原则进行资源分配。

采用层次分析法^[17]对所有设计任务进行权重计算，邀请数名专家按照Santy提出的九级指标（见表3）对所有的设计任务进行打分，其中一致性指标 RI 的取值见表4，形成初始对比矩阵，并计算权重，具体操作流程见图2。

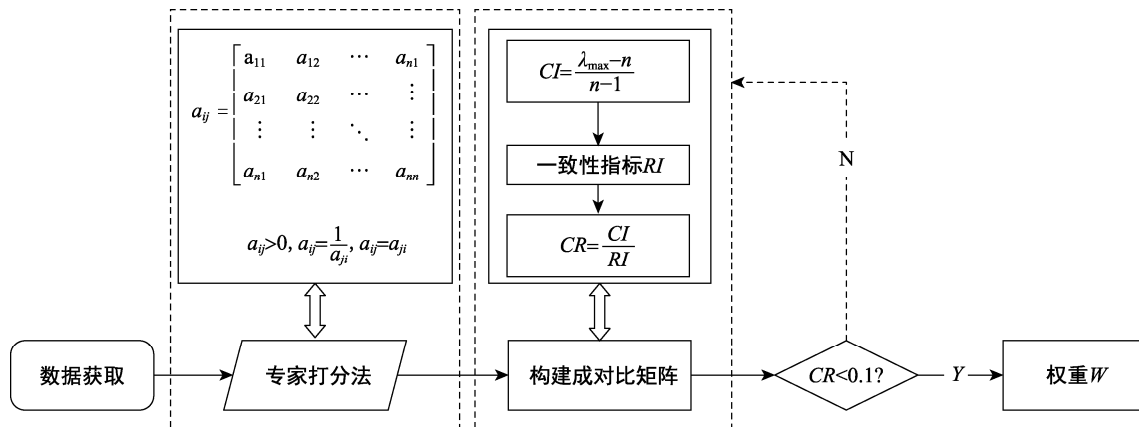


图 2 层次分析法确定权重步骤

Fig.2 Hierarchical analysis method to determine the weighting steps

表 3 Santy 重要性等级及赋值
Tab.3 Santy importance level and assigned value

任务 <i>i</i> 对任务 <i>j</i>	量化值
同等重要	1
稍微重要	3
较强重要	5
非常重要	7
极其重要	9
两相邻判断的中间值	2,4,6,8

表 4 平均随机一致性指标 *R*/标准值
Tab.4 Average random consistency index
RI standard values

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

2.5 资源-任务匹配研究

在完成上述按照设计能力作为设计任务驱动的资源优选与任务分解后, 按任务所需设计能力及权重大小进行资源对应分配, 形成资源与任务的一对一或者多对一关系, 并将得分最高者作为此次设计方案的领导管理者, 起到统领全局的作用。

3 实例说明

3.1 任务分解与重组

以一个拖拉机产品的设计过程为例, 在接到设计任务之后, 进行网络虚拟团队的组建工作。首先进行设计任务的分解与重组, 由此类项目经验丰富的设计管理者或行业专家对任务进行分解, 见表 5。其次, 按照任务所需技能进行任务组的重新组合, 可将完全分解的 20 个一级设计任务划分成 10 个任务子模块, 见图 3。

表 5 设计任务分解
Tab.5 Design task breakdown

一级任务	二级任务	所需技能
用户场景分析	目标用户类型 <i>task1</i>	市场调研 d_1
	明确使用场景 <i>task2</i>	市场调研 d_1
	用户痛点 <i>task3</i>	市场分析 d_2
数据分析	用户行为数据 <i>task4</i>	数据分析 d_3
	市场产品数据 <i>task5</i>	数据分析 d_3
	竞品优势 <i>task6</i>	市场分析 d_2
竞品分析	竞品数据 <i>task7</i>	数据分析 d_3
	创意方案 <i>task8</i>	创造力 d_4
	设计草图 <i>task9</i>	手绘能力 d_5
设计初稿	CMF <i>task10</i>	CMF d_6
	产品结构 <i>task11</i>	结构设计 d_7
	产品尺寸 <i>task12</i>	数据分析 d_3
产品可视化	产品评估 <i>task13</i>	产品评估 d_8
	产品建模 <i>task14</i>	建模能力 d_9
	产品渲染 <i>task15</i>	CMF d_6
交互原型	产品结构 <i>task16</i>	结构设计 d_7
	可行性评估 <i>task17</i>	产品评估 d_8
	用户测试 <i>task18</i>	数据分析 d_3
产品定稿	数据收集 <i>task19</i>	数据分析 d_3
	项目汇报 <i>task20</i>	组织管理 d_{10}

3.2 设计资源的分解重组

在进行任务的分解重组形成新的任务组之后, 需要进行设计资源优选与任务匹配工作。经过初步筛选后, 共有 20 个备选设计资源进入虚拟设计团队内部。对 20 个设计资源按所具备的能力进行统计(见表 6), 形成新的资源组, 并进行命名, 见表 7。

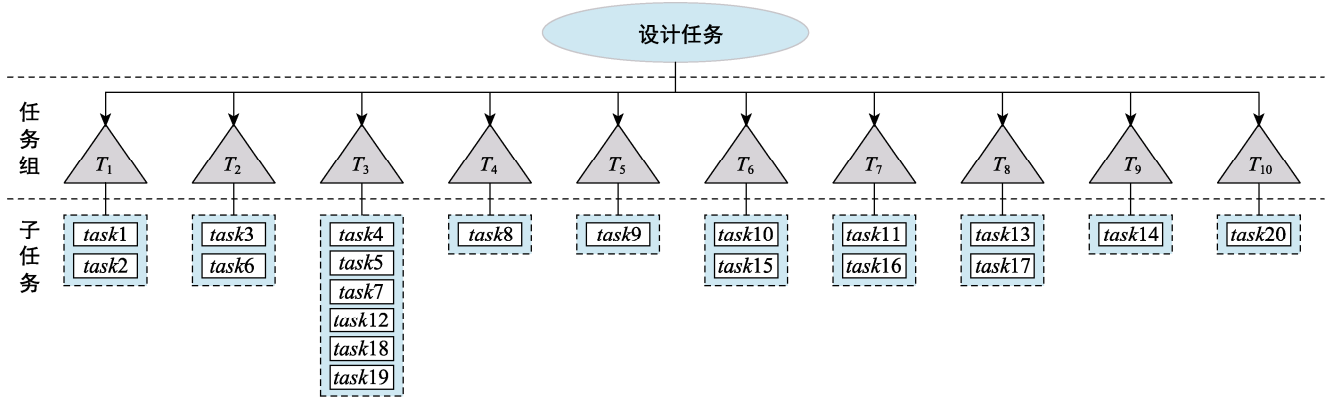


图3 设计任务重组结果
Fig.3 Design task reorganization results

表6 设计资源能力统计
Tab.6 Design resource capacity statistics

设计资源	市场调研	创造力	产品评估	草图绘制	结构设计	市场分析	建模能力	组织管理	CMF	数据分析
S ₁	✓		✓	✓	✓		✓			✓
S ₂		✓		✓		✓		✓		
S ₃	✓		✓		✓		✓		✓	✓
S ₄	✓	✓		✓						✓
S ₅			✓			✓		✓		
S ₆	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓
S ₇	✓		✓		✓	✓	✓			✓
S ₈		✓	✓	✓		✓		✓		✓
S ₉	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	
S ₁₀			✓	✓			✓		✓	✓
S ₁₁	✓	✓		✓		✓		✓		✓
S ₁₂		✓		✓	✓		✓		✓	
S ₁₃	✓		✓		✓	✓			✓	✓
S ₁₄			✓	✓		✓	✓	✓		✓
S ₁₅	✓	✓	✓		✓	✓			✓	✓
S ₁₆	✓	✓		✓				✓	✓	
S ₁₇			✓	✓		✓	✓			✓
S ₁₈	✓	✓			✓	✓		✓	✓	
S ₁₉			✓	✓	✓		✓			✓
S ₂₀	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓

表7 设计资源分组
Tab.7 Grouping of design resources

资源组名称	所需技能	设计资源
G ₁	市场调研 d ₁	S ₁ , S ₃ , S ₄ , S ₆ , S ₇ , S ₉ , S ₁₁ , S ₁₃ , S ₁₅ , S ₁₆ , S ₁₈ , S ₂₀
G ₂	市场分析 d ₂	S ₂ , S ₅ , S ₇ , S ₈ , S ₉ , S ₁₁ , S ₁₃ , S ₁₄ , S ₁₅ , S ₁₇ , S ₁₈ , S ₂₀
G ₃	数据分析 d ₃	S ₁ , S ₃ , S ₄ , S ₆ , S ₇ , S ₈ , S ₁₀ , S ₁₁ , S ₁₃ , S ₁₄ , S ₁₅ , S ₁₇ , S ₁₉ , S ₂₀
G ₄	创造力 d ₄	S ₂ , S ₄ , S ₆ , S ₈ , S ₉ , S ₁₁ , S ₁₂ , S ₁₅ , S ₁₆ , S ₁₈ , S ₂₀
G ₅	手绘能力 d ₅	S ₁ , S ₂ , S ₄ , S ₆ , S ₇ , S ₈ , S ₁₀ , S ₁₁ , S ₁₂ , S ₁₄ , S ₁₆ , S ₁₇ , S ₁₉ , S ₂₀
G ₆	CMF d ₆	S ₃ , S ₆ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₂ , S ₁₃ , S ₁₅ , S ₁₆ , S ₁₈ , S ₂₀
G ₇	结构设计 d ₇	S ₁ , S ₃ , S ₇ , S ₉ , S ₁₂ , S ₁₃ , S ₁₅ , S ₁₈ , S ₁₉
G ₈	产品评估 d ₈	S ₁ , S ₃ , S ₅ , S ₆ , S ₇ , S ₈ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₃ , S ₁₄ , S ₁₅ , S ₁₇ , S ₁₉
G ₉	建模能力 d ₉	S ₁ , S ₃ , S ₆ , S ₇ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₂ , S ₁₄ , S ₁₇ , S ₁₉ , S ₂₀
G ₁₀	组织管理 d ₁₀	S ₂ , S ₅ , S ₆ , S ₈ , S ₁₁ , S ₁₄ , S ₁₆ , S ₁₈ , S ₂₀

3.3 个人能力数据

根据表 1 中的数据获取方式, 统计成员影响力数据, 并邀请 5 位专家组成决策团队, 利用式 (1) —

(2) 对设计资源设计能力评价指标进行评估, 以获取每个评价指标的单项评价价值, 建立评价矩阵 B , 为后续对设计资源的优选提供数据基础。

$$B = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 & S_9 & S_{10} & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} & S_{17} & S_{18} & S_{19} & S_{20} \\ 2.5 & 0 & 3 & 3.5 & 0 & 5 & 1.5 & 0 & 3 & 0 & 4 & 0 & 4.5 & 3.5 & 2 & 2.5 & 0 & 1.5 & 0 & 3 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1.5 & 0 & 3 & 3.5 & 3.5 & 0 & 2.5 & 0 & 2.5 & 3 & 4.5 & 0 & 2.5 & 2 & 0 & 2.5 \\ 1 & 0 & 3 & 2 & 0 & 1.5 & 2.5 & 2.5 & 0 & 3.5 & 1.5 & 0 & 2 & 3.5 & 3.5 & 0 & 4 & 0 & 1.5 & 3 \\ 0 & 2.5 & 0 & 3 & 0 & 2 & 0 & 1 & 1.5 & 0 & 3 & 2 & 0 & 0 & 2.5 & 3.5 & 0 & 4.5 & 0 & 4.5 \\ 2.5 & 1.5 & 0 & 2.5 & 0 & 4.5 & 1 & 2.5 & 0 & 3.5 & 2.5 & 3 & 0 & 2.5 & 0 & 3.5 & 2.5 & 0 & 2.5 & 3.5 \\ 0 & 0 & 2.5 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 5 & 4.5 & 0 & 4.5 & 3.5 & 0 & 4.5 & 1.5 & 0 & 3.5 & 0 & 2.5 \\ 3.5 & 0 & 2.5 & 0 & 0 & 0 & 2.5 & 0 & 4.5 & 0 & 0 & 3 & 3.5 & 0 & 1.5 & 0 & 0 & 3.5 & 2.5 & 0 \\ 2 & 0 & 4 & 0 & 3.5 & 1.5 & 1.5 & 4 & 3.5 & 3.5 & 0 & 0 & 2.5 & 2.5 & 3.5 & 0 & 2.5 & 0 & 1.5 & 0 \\ 3 & 0 & 3 & 0 & 0 & 1.5 & 3 & 0 & 4 & 4.5 & 0 & 2.5 & 0 & 3.5 & 0 & 0 & 2.5 & 0 & 1.5 & 4 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 2.5 & 1 & 0 & 5 & 0 & 0 & 3.5 & 0 & 0 & 3 & 0 & 4 & 0 & 3.5 & 0 & 3.5 \\ 3 & 5 & 4 & 3 & 3 & 5 & 7 & 6 & 5 & 4 & 6 & 5 & 4 & 6 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 4 \\ 3.5 & 3.5 & 5 & 4.5 & 3.5 & 4.5 & 4.5 & 2.5 & 4.5 & 3 & 3 & 2.5 & 3 & 4.5 & 4 & 3.5 & 3.5 & 2.5 & 2 & 3 \end{bmatrix} \begin{matrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \\ d_6 \\ d_7 \\ d_8 \\ d_9 \\ d_{10} \\ u_1 \\ u_3 \end{matrix}$$

虚拟团队内部备选设计资源, 根据自身的设计能力强项及自身的利益追求, 按式 (3) — (4) 给出个

人评价矩阵 V :

$$V = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 & S_9 & S_{10} & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} & S_{17} & S_{18} & S_{19} & S_{20} \\ 0.2 & 0 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0.1 & 0.15 & 0 & 0.3 & 0 & 0.4 & 0 & 0.4 & 0 & 0.1 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0.35 & 0.1 & 0 & 0.1 & 0 & 0.2 & 0.1 & 0.3 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0 & 0.3 & 0.25 & 0 & 0.2 & 0.25 & 0.25 & 0 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0.2 & 0 & 0.2 & 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0.2 & 0 & 0.3 \\ 0.2 & 0.15 & 0 & 0.2 & 0 & 0.4 & 0 & 0.1 & 0 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0.2 & 0 & 0.2 & 0.2 & 0 & 0.3 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.2 & 0 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0.3 & 0 & 0.1 \\ 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0.3 & 0 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0.1 & 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0.1 & 0.2 \\ 0 & 0.4 & 0 & 0 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0 & 0.1 & 0 & 0.3 \end{bmatrix} \begin{matrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \\ d_6 \\ d_7 \\ d_8 \\ d_9 \\ d_{10} \end{matrix}$$

根据式 (3) 得到虚拟团队设计资源基于自身利益的能力权重矩阵 E_p^* :

$$E_p^* = [2.55, 2.15, 2.65, 1.60, 2.45, 2.20, 1.30, 1.40, 1.40, 2.20]$$

应用式 (4) 对权重矩阵 E_p^* 进行归一化处理, 得到能力权重矩阵 E_p :

$$E_p = [0.13, 0.11, 0.13, 0.08, 0.12, 0.11, 0.06, 0.07, 0.07, 0.12]$$

3.4 任务权重确定

依据任务权重确定的方法步骤, 对图 3 的数据依据层次分析法求出各任务组的权重, 见表 8。

3.5 协作能力数据

依据表 1 的协作能力指标, 按照设计资源之间合

作次数及任务完成质量进行打分, 0—9 分别代表合作质量由差到优秀的 10 个等级。综合得到设计资源协同权重数据, 见表 9。其中 0 表示两者之间并无合作关系, 数字越大代表两者协同合作效率越高。

3.6 资源优选

根据项目组得到的调研与分析结果, 目前该委托单位的拖拉机产品在 CMF 方面存在较大的问题, 严重地影响了产品本身的美学性及市场销售, 因此, 以产品 CMF 设计为例, 通过市场调研与分析、资源组优化与整合, 对设计任务组 T_6 所需要的具备产品设计 CMF 能力的资源进行优选分配。提取具备建模能力的资源组 G_6 , 对资源组内部设计资源 $\{S_3, S_6, S_9, S_{10}, S_{12}, S_{13}, S_{15}, S_{16}, S_{18}, S_{20}\}$ 进行优选匹配。

表8 设计任务组的权重
Tab.8 Weights of the design task group

任务组	成对比矩阵	权重	CI	CR
T_1	$\begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 5 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1 \\ 7 & 3 & 1 & 1 & 5 & 1 & 1 & 3 & 3 & 3 \\ 7 & 5 & 1 & 1 & 7 & 3 & 3 & 5 & 3 & 5 \\ 3 & 1 & 1/5 & 1/7 & 1 & 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 5 & 5 & 1 & 1/3 & 7 & 1 & 1 & 5 & 3 & 3 \\ 7 & 5 & 1 & 1/3 & 7 & 1 & 1 & 5 & 3 & 3 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 3 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/5 \\ 5 & 3 & 1/3 & 1/3 & 5 & 1/3 & 1/3 & 3 & 1 & 1 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 3 & 1/3 & 1/3 & 5 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	0.018 6	0.085 1	0.057 1
T_2		0.043 0		
T_3		0.156 2		
T_4		0.248 4		
T_5		0.026 9		
T_6		0.157 7		
T_7		0.161 1		
T_8		0.039 5		
T_9		0.080 3		
T_{10}		0.068 2		

表9 设计资源协同权重数据
Tab.9 Design resource synergy weighting data

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}	S_{16}	S_{17}	S_{18}	S_{19}	S_{20}
S_1	0	0	2	0	5	0	4	0	3	2	3	0	8	0	0	5	0	6	0	8
S_2	0	0	6	5	0	4	0	3	3	0	0	5	3	5	0	0	6	0	7	0
S_3	2	6	0	7	5	6	0	6	0	3	2	0	3	0	3	2	5	2	0	3
S_4	0	5	7	0	0	3	5	8	2	0	5	5	4	0	5	7	2	0	3	0
S_5	5	0	5	0	0	7	6	0	3	5	0	8	0	9	5	0	3	0	5	3
S_6	0	4	6	3	7	0	7	5	0	7	0	6	6	3	5	0	6	9	0	8
S_7	4	0	0	5	6	7	0	0	8	4	5	0	7	2	6	3	0	0	0	0
S_8	0	3	6	8	0	5	0	0	0	0	7	5	0	5	0	0	7	0	0	6
S_9	3	3	0	2	3	0	8	0	0	8	7	4	0	0	0	4	0	0	3	0
S_{10}	2	0	3	0	5	7	4	0	8	0	0	0	5	5	0	0	3	0	0	0
S_{11}	3	0	2	5	0	0	5	7	7	0	0	0	0	0	7	5	8	8	0	7
S_{12}	0	5	0	5	8	6	0	5	4	0	0	0	4	4	6	3	8	0	0	4
S_{13}	8	3	3	4	0	6	7	0	0	5	0	4	0	7	8	8	5	9	0	3
S_{14}	0	5	0	0	9	3	2	5	0	5	0	4	7	0	0	0	0	3	5	0
S_{15}	0	0	3	5	5	5	6	0	0	0	7	6	8	0	0	7	9	0	0	5
S_{16}	5	0	2	7	0	0	3	0	4	0	5	3	8	0	7	0	0	0	0	0
S_{17}	0	6	5	2	3	6	0	7	0	3	8	8	5	0	9	0	0	5	0	7
S_{18}	6	0	2	0	0	9	0	0	0	0	8	0	9	3	0	0	5	0	5	5
S_{19}	0	7	0	3	5	0	0	0	3	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	8
S_{20}	8	0	3	0	3	8	0	6	0	0	7	4	3	0	5	0	7	5	8	0

由设计资源依据个人利益追求得到的矩阵 V 及能力权重矩阵 E_p 可知, CMF 设计能力的利益权重为 0.11, 假设个人影响力与任务知识权重比为 1.5:1, 可得到资源组 G_6 的能力评价矩阵:

$$E_p = [0.11, 0.53, 0.36]^T$$

由表 7 可得 T_6 任务组的权重为 0.157 7, 对 20

个设计资源进行分配, 此任务组需分配 3 人用于进行 $task_{10}$ 和 $task_{15}$ 任务的设计工作。依据个人能力建立评价矩阵 B , 得到资源组 G_6 中设计资源的 CMF 能力矩阵, 按照式 (5) 通过线性加权矩阵计算得到虚拟团队设计成员基于个人能力与自身利益追求的综合表现结果, 最终对 φ_6 进行归一化处理得到:

$$\begin{aligned} \varphi_6 &= [0.11, 0.53, 0.36] \begin{bmatrix} 4 & 5 & 5 & 4 & 5 & 4 & 5 & 3 & 3 & 4 \\ 2.5 & 3 & 5 & 4.5 & 4.5 & 3.5 & 4.5 & 1.5 & 3.5 & 2.5 \\ 5 & 4.5 & 4.5 & 3 & 2.5 & 3 & 4 & 3.5 & 2.5 & 3 \end{bmatrix} \\ &= [0.099 2, 0.104 5, 0.133 9, 0.108 6, 0.106 7, 0.093 9, 0.121 7, 0.066 4, 0.085 9, 0.079 2] \end{aligned}$$

经相关设计任务经验丰富的设计师或专家协同商榷后, 将资源阈值设置为 0.1, 即淘汰设计资源中的 S_3 、 S_{13} 、 S_{16} 、 S_{18} 、 S_{20} 等 5 个备选资源, 并考虑 S_6 、 S_9 、 S_{10} 、 S_{12} 、 S_{15} 等 5 个设计资源的协同关系, 见图 4。

借用 Matlab 软件按式 (8) 计算设计资源基于个人能力与协同合作能力的综合排名:

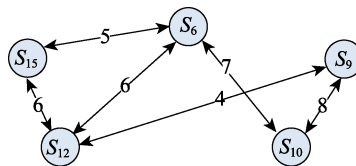


图 4 设计资源协同关系
Fig.4 Design resource synergy relationship

$$Q_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 7 & 6 & 5 \\ 0 & 0 & 8 & 4 & 0 \\ 7 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 4 & 0 & 0 & 6 \\ 5 & 0 & 0 & 6 & 0 \end{bmatrix} = [2.0089, 1.9041, 1.8027, 1.8928, 1.1627]$$

由 Q_6 可得 G6 资源组与所对应的 T6 任务组的设计资源排名为 $S_6 > S_9 > S_{15} > S_{10} > S_{12}$, 由于该任务组需要 3 人, 所以安排 S_6 、 S_9 、 S_{15} 共 3 名设计师进行 CMF 任务组的设计任务。

当出现资源重复使用的情况时, 按照任务组权重大小关系进行优选分配, 低权重任务组内成员可重复用于其他任务组的设计工作。重复上述步骤可得到所

有任务与设计资源的匹配关系, 见图 5。

3.7 产品展示与评价

经过所有任务组内设计资源的协同合作, 通过对产品的建模, 并利用 Keyshot 渲染软件, 最终得到的拖拉机产品的设计效果, 见图 6。

为证明此次项目结果是否达到设计目标, 设计了

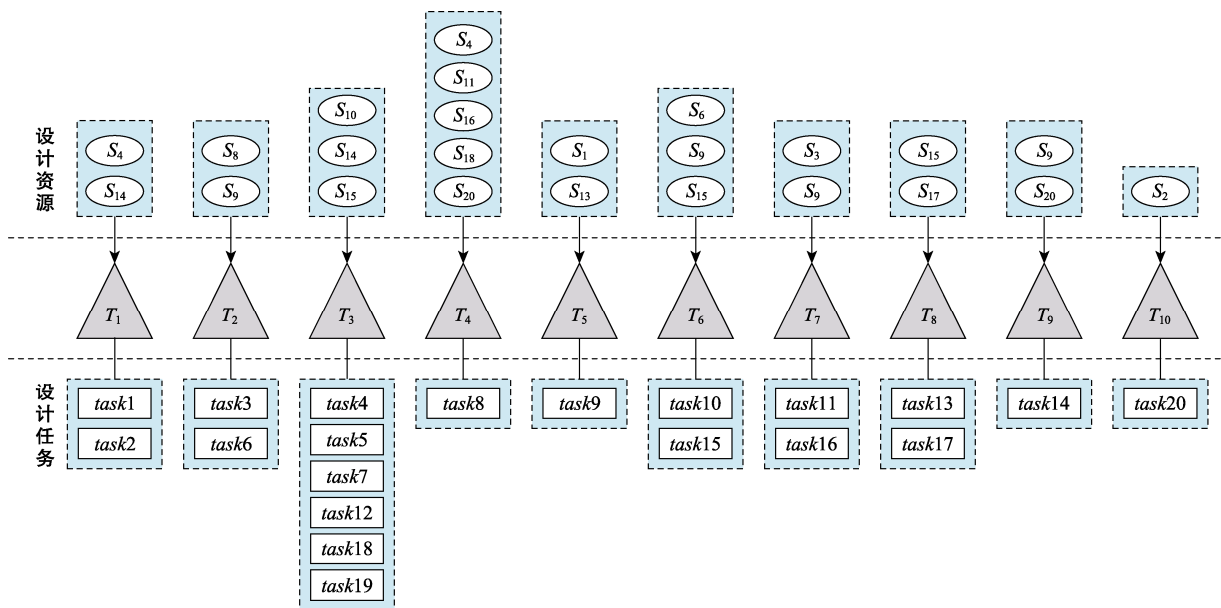


图 5 任务-资源匹配结果
Fig.5 Task-Resource matching result



图 6 拖拉机产品设计结果
Fig.6 Design results of tractor products

一个感性实验进行测试。实验共邀请了 30 名参与人员,其中产品设计专业大学教授 5 名、企业内部专业设计师 5 名、市场销售人员 10 名、普通产品用户 10 名。课题组从产品的美学性、市场性、结构合理性等多个角度进行调查问卷的设置,并对收集到的调查问卷进行效度与信度的检验,最终收获有效调查问卷 30 份。课题组利用数据分析软件并基于模糊评价算法及最大隶属原则,最终结果显示此次设计的产品属于非常符合的范畴,基本达到设计需求。

通过对比文中的方法及以往的资源优选匹配策略,笔者改变了原先线性设计任务的划分,提出了粒度更小的环形划分方法,可以有效提高设计过程的效率。同时,多方面考虑设计资源与设计任务的契合度,实现资源与任务的合理匹配,可以高效发挥设计资源的自身优势,进一步提高设计产品的质量。

4 结语

笔者对虚拟团队成员优选与任务匹配策略进行了研究,提出了以设计资源所具备的能力作为设计驱动,对资源组与任务组进行一一对应,提高了设计效率。综合考虑设计资源的个人能力与协同合作能力,将设计师的个人利益引入资源与任务的匹配工作中,综合权衡全局权重来分配阈值,提高了设计任务分配的科学性。

文中以一款拖拉机产品的设计为例,首先,对该产品的设计任务进行了详细的分解与分析,确定了产品的设计思路及设计痛点,完成了基于任务所需技能的任务组的最小粒度的划分。其次,对数据库中具备该产品设计所需技能的设计资源进行优选,以完成项目资源组的组建工作。最后,通过资源组与任务组的相互匹配,详细展示了产品 CMF 设计任务的资源优选与决策过程,验证了所提决策方法的可行性、有效性与实际可操作性。文中所提的方法克服了仅考虑成员个体优劣所带来的局限性,充分考虑成员之间的协同合作能力,可以有效地促进成员之间的交流,提高成员之间的满意度,减少合作的冲突和不确定性,对虚拟协同创新工作的顺利开展及效率的提高具有重要的意义。该方法可扩展到任何背景的虚拟团队设计资源优选与匹配过程中,具有一定的应用价值。

目前文中的研究仍处在初级阶段,在今后的研究中还需要继续完善团队资源优选指标,采用更加科学的权重确定方法,考虑借助数据处理平台,如云服务平台、数字孪生系统等来实现数据的快速储存与运算,从而提高设计效率,促进相关数据和应用的低成本、高效率、开放式创新。

参考文献:

[1] 时迪. 协同设计沟通方法的多元式视角研[J]. 包装工

程, 2019, 40(16): 201-204.

SHI Di. Research on Communication Methods of Collaborative Design from Multiple Perspectives[J]. Packaging Engineering, 2019(16): 201-204.

[2] 李雪瑞. 协同创新模式下的产品创意设计网络构建方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2018.

LI Xue-ru. Research on Product Creative Design Network under Synergy Innovation Pattern[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2018.

[3] 陈友玲, 王龙, 刘舰, 等. 基于 i-NSGA-II-JG 算法的云制造资源服务组合优选[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(11): 2892-2904.

CHEN You-ling, WANG long, LIU Jian, et al, Resource Service Composition Optimization Based on i-NSGA-II-JG Algorithm for Cloud Manufacturing[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(11): 2895-2904.

[4] ZHENG H, FENG Y, TAN J. A Fuzzy QoS-aware Resource Service Selection Considering Design Preference in Cloud Manufacturing System[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 84(1): 371-379.

[5] 刘明周, 王强, 凌琳. 基于分层任务网络的云制造任务分解方法[J]. 中国机械工程, 2017, 28(8): 924-930.

LIU Ming-yang, WANG Qiang, LING Lin. Cloud Manufacturing Task Decomposition Method Based on HTN [J]. China Mechanical Engineering, 2017, 28(8): 924-930.

[6] 陈丽. 基于共同价值的多维度组织协同机理与方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.

CHEN Li. Study on the Mechanism and the Method of Synergy for the Multi-dimensional Organization Based on the Common Value[D]. Tianjin: Tianjin University, 2010

[7] 蒋勋, 顾小林, 丁一, 等. 协同合作视角下的 VGAgent 团队成员优选模型[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2013, 35(1): 144-148.

JIANG Xun, GU Xiao-lin, DING Yi, et al. Selection Model of VGAgent from Angle of Collaboration[J]. Journal of Wuhan University of Technology(Information & Management Engineering), 2013, 35(1): 144-148.

[8] 曾广周, 杨公平, 王晓琳. 基于 Agent 能力自信度的任务分配问题研究 [J]. 计算机学报, 2007(11): 1922-1929.

ZENG Gaung-zhou, YANG Gong-ping, WANG Xiaolin. Study of Task Allocation Problem Based on Agent Ability Confidence[J]. Chinese Journal of Computers, 2007(11): 1992-1929.

[9] 周向红, 李丹萍, 成鹏飞, 等. 面向云制造协同创新伙伴选择的多源异构 VIKOR 群决策方法[J]. 计算机集成制造系统, 2020(12): 1203-1218.

ZHOU Xiang-hong, LI Dan-ping, CHENG Peng-fei, et al. Multi-source Heterogeneous VIKOR Group Decision-making Method for Cloud Manufacturing Collabo-

- relative Innovation Partner Selection[J]. *Computer Integrated Manufacturing System*, 2020(12): 1203-1218.
- [10] 刘敬, 余隋怀, 初建杰, 等. 设计云服务平台下的网络团队成员优选决策[J]. *计算机集成制造系统*, 2017, 23(6): 1205-1215.
- LI Jing, YU Sui-huai, CHU Jian-jie, et al. Member optimal selection of network team[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2017, 23(6): 1205-1215.
- [11] 万树平. 直觉模糊多属性决策方法综述[J]. *控制与决策*, 2010, 25(11): 1601-1606.
- WAN Shu-ping. Survey on Intuitionistic Fuzzy Multi-attribute decision making approach[J]. *Control and Decision*, 2010, 25(11): 1601-1606.
- [12] 樊佳爽, 余隋怀, 初建杰, 等. 工业设计云服务平台下基于用户偏好的设计团队成员优选决策[J]. *计算机集成制造系统*, 2019, 25(11): 2863-2873.
- FAN Jia-shuang, YU Sui-huai, CHU Jian-jie, et al. Optimization Decision of Design Team Members Based on User Preference under Industrial Design Cloud Service Platform[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2019, 25(11): 2863-2873.
- [13] 朱阁, 吕廷杰, 付瑞雪, 等. 基于多 Agent 的在线多属性采购拍卖的机制设计[J]. *管理科学*, 2009, 22(1): 78-85.
- ZHU Ge, LYU Yan-jie, FU Rui-xue, et al. Online Multi-attribute Procurement Auction Mechanism Design and Multi-agent System Implementation[J]. *Journal of Management Science*, 2009, 22(1): 78-85.
- [14] 陈振, 朱海滨, 盛寅, 等. GRMTAP 算法中的任务权重与质量阈值分配问题[J]. *计算机应用研究*, 2017, 34(3): 718-722.
- CHEN Zhen, ZHU Hai, SHENG Yan, et al. Assignment Problem with Task Weight and Qualification Threshold in GRMTAP[J]. *Application Research of Computers*, 2017, 34(3): 718-722.
- [15] 陈健, 莫蓉, 初建杰, 等. 云设计制造模式下的社交化协作团队构建方法[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2019, 53(3): 444-454.
- CHEN Rong, MO Rong, CHU Jian-jie, et al. Construction of Social Collaboration Team in Cloud Design and Manufacturing Mode[J]. *Journal of Zhejiang University(Engineering Science)*, 2019, 53(3): 444-454.
- [16] 徐丽, 撒建欣, 徐雷, 等. 快递末端配送体系的问题分析及优化研究[J]. *包装工程*, 2020, 41(23): 141-153.
- XU Li, SA Jian-xin, XU Lei, et al. Problem Analysis and Optimization of Express Terminal Delivery System [J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(23): 141-153.
- [17] 侯建军, 张玉春, 吴丽. 基于 AHP 层次分析法的智能婴儿手推车设计研究[J]. *包装工程*, 2022, 43(2): 50-55.
- HOU Jian-jun, ZHANG Yu-chun, WU Li. The Research and Design of Smart Baby Stroller Based on Analytic Hierarchy Process[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(2): 50-55.

责任编辑: 马梦遥