

[经营·管理]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.01.018

复杂机械产品服务系统服务活动聚类方法研究

贾宁, 周俊

(上海工程技术大学机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘要:为实现复杂机械产品服务系统配置优化,首先应该对服务活动进行聚类。课题组提出把服务划分为复杂机械产品服务、服务功能集合、服务行为集合和服务活动4层层级结构。分析了服务活动的耦合关系,基于模糊聚类算法提出了复杂机械产品服务系统中服务活动聚类方法。以汽车产品服务为例,应用该方法获得汽车产品服务系统服务活动聚类方案,并采用逼近理想解法进行排序,选择出最优聚类方案。实际应用证明该方法为复杂机械产品服务系统服务活动聚类优化提供了合理的指导。

关键词:产品服务系统;服务活动聚类;模糊聚类方法;逼近理想解法

中图分类号:TH162

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2020)01-0097-07

Research on Clustering Method of Service Activities in Complex Machinery Product Service System

JIA Ning, ZHOU Jun

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: In order to realize the configuration optimization of service system for complex mechanical products, service activities should be clustered first. The service was considered to be divided into four levels: complex mechanical product service, service function set, service behavior set and service activity. The coupling relationship of service activity was analyzed, and a service activity clustering method in complex mechanical product service system was proposed based on Fuzzy clustering algorithm. Taking the automobile products and services as an example, the proposed method was adopted to obtain the clustering scheme of service activities in automobile product service system, and the optimal clustering scheme was selected by sorting with the Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS). The practical application proves that this method provides reasonable theoretical guidance for clustering optimization of service activities in complex mechanical product service system.

Keywords: PSS (Product Service System); clustering of service activities; Fuzzy clustering method; TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)

随着消费者消费意识的增强,客户需求日趋多样化,制造系统必须能够重新配置设计以应对需求的变化。在这种情况下,联合国环境规划署提出了产品服务系统(product service system, PSS)理念,其关键思想是:企业提供给顾客的是具体产品的功能或结果,而顾客则可以不购买物质形态的产品^[1]。产品服务系统聚焦于服务与产品的组合,使其将传统的设计和产品销售产品转变为产品和服务集成成的系统,以满足特定顾客需求^[2]。

产品服务系统旨在提高产品质量,充分满足顾客需求。而产品的研发始终面向客户的个性化需求和服务,企业开始以“产品+服务”为客户提供的一体化全面解决方案^{[3]2522}。为了能给客户实时、满意的个性化“产品+服务”配置方案,企业对产品服务系统配置设计提出了更高的需求,以达到资源共享、产品的价值增值与服务增效。基于模块化的产品服务系统配置设计能有效地提高资源综合利用率,降低企业生产成本,并提供覆盖产品全生命周期的服务,该服务方案是

收稿日期:2019-06-28;修回日期:2019-11-07

第一作者简介:贾宁(1993),男,山西朔州人,硕士研究生,主要研究方向为产品服务系统配置。E-mail:ningjia0112@163.com

大规模定制生产方式成功的关键技术之一^{[4][1172]}。复杂机械产品服务系统的服务活动聚类可以实现 PSS 行为多样化配置,从而减少产品服务系统内部服务行为集合数,降低耦合维度,有效地提高服务配置效率和服务行为集合的可重用性,从而降低企业的生产成本并提高客户满意度。

1 研究现状与存在的问题

20 世纪 90 年代中期以来,产品服务系统在理论和实践方面都取得积极成果。Monte 把产品服务系统的概念、特点、组成成分及发展障碍进行了阐述^[5]。朱琦琦等建立了一种数控加工设备产品服务系统配置和运行的框架^[6]。张建民等采用模糊等价聚类的方法对装载机物理模块进行聚类,将模块的平均聚合度和平均分离度对模块划分结果进行评价^[7]。罗石林等运用模糊综合评价法得出零件综合关联矩阵,使用遗传算法和遗传模拟退火算法实现对微耕机操纵机构的 DSM 矩阵模块化^[8]。张楠运用了遗传模拟退火算法对机电产品进行模块划分研究^[9]。张伟等利用设计结构矩阵实现服务模块与产品模块之间映射,通过产品模块的优化实现服务模块的功能,实现产品与服务的集成设计^[10]。张在房在分析功能需求的基础上,利用 U/C 矩阵来刻画产品与服务之间的联系,并用动态聚类算法来实现产品与服务的优化耦合^[11]。以上学者对物理产品活动聚类已经有较为深入的研究,但是较少聚焦于服务活动聚类。而进行产品服务系统配置设计的前提是进行服务活动聚类,确保企业所提供的服务很难被竞争对手模仿,从而形成技术壁垒,维护企业的竞争力。因此课题组提出把复杂机械产品服务划分为服务、服务功能集合、服务行为集合和服务活动 4 层层级结构。运用模糊聚类方法对汽车产品服务系统的服务活动进行聚类,得出不同的服务行为集合方案;并用逼近理想解法进行排序评价,筛选出“最优”的服务行为集合方案,为后续复杂机械产品服务系统配置设计打下基础。

2 服务结构划分

2.1 服务的层次结构

服务活动聚类可以有效降低企业的运营成本,更充分地满足顾客的个性化需求。为了更好地进行服务聚合,将服务分为 4 个层次:复杂机械产品服务、服务功能集合、服务行为集合和服务活动,它们的具体层次关系如图 1 所示。

1) 复杂机械产品服务。复杂机械产品服务是指没有实体,但以各种形式表现出来的无形产品。它由

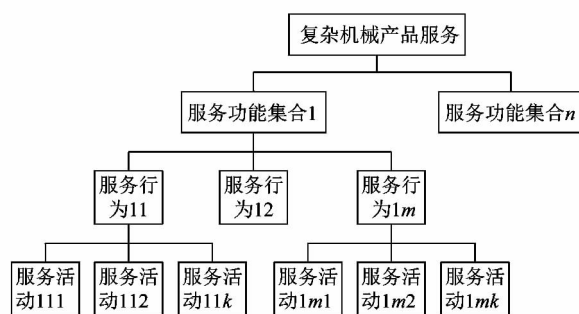


图 1 复杂机械产品服务的层级结构

Figure 1 Hierarchical structure of complex mechanical product services

一个或多个服务给你集合组成,以完成顾客的个性化需求。如汽车远程监控服务是由监控功能集合和定位功能集合共同完成的。

2) 服务功能集合。服务功能集合是一个抽象的实体集——功能独立的有形服务或无形服务,通过物理产品和服务流程的交互来实现相应的服务功能,是由一系列服务行为集合构成的。如汽车初体验功能集合由汽车咨询行为集合与试驾服务行为集合等服务行为集合构成。

3) 服务行为集合。服务行为集合是一系列的具体行为实施,是为了满足客户实际需求而采取的,是由服务活动而构成的。如汽车咨询行为集合由汽车销售咨询与技术咨询服务所构成。

4) 服务活动。服务活动是产品服务系统中服务的基本构造元素,其集成了一系列的对象、过程、作业和资源等的集合操作,可以完成给定的服务行为需求。不同的服务活动组合形成了具有不同行为的服务行为集合。

2.2 服务行为集合划分

服务行为集合是一种半自治的子系统,按照一定的规则与其他的子系统耦合,使其更加复杂。而服务活动聚类是一个动态的组合与分解过程,而且在此过程中不影响其功能并与其他行为集合进行匹配组合,以实现最佳效益。

通过分析服务活动间耦合关系,可以将服务活动聚合为具有独立功能的服务行为集合,该方法有效地降低生产成本,提高了企业效益。服务活动聚类是实现产品服务系统配置设计的基础,聚类后的服务行为集合构建的服务行为集合库提供了产品服务系统配置设计所选择的对象。通过服务活动聚类技术的应用,不仅可以缩短产品开发时间、降低全生命周期成本,也

提高了服务周期与服务效率,并且提高产品的可重用性和可回收性等。

2.3 服务活动聚类准则

为了准确地将相关的服务活动聚合到服务行为集合中去,根据文献^[12]提出将服务活动之间的耦合分为功能耦合关系、类耦合关系及流程耦合关系。在分别考虑所有服务活动各种耦合性的基础上,结合模糊理论,构建服务活动模糊综合耦合矩阵。

1) 服务活动的功能耦合性。服务活动的功能耦合性是指在服务活动聚类时,能够实现同样功能的服务活动聚集到一个行为集合中,保证功能的独立性与完整性。如汽车导航服务与GPS定位服务都是地理位置定位的服务活动,它们之间的功能耦合关系很强,其功能耦合性值定义为0.75。各服务活动具有一定的耦合关系,具体的服务活动之间的功能耦合性定义如表1所示。

表1 服务活动的功能耦合值定义

Table 1 Functional coupling value definition for service activities

耦合程度	服务活动功能耦合性描述	取值
强	2个服务活动是实现同一功能的	1.00
较强	2个服务活动之间功能耦合程度很强	0.75
中	2个服务活动之间功能耦合程度适中	0.50
弱	2个服务活动之间功能耦合程度很弱	0.25
无	2个服务活动之间没有功能联系	0.00

2) 服务活动的类耦合性。服务活动的类耦合性是指在服务活动聚类时,将具有相同特性或相似特性的服务活动聚合为同一服务行为集合,便于后期的服务管理,更方便地为客户提供相似服务。如汽车销售咨询服务与技术咨询服务同属于服务咨询行为集合,而实现的功能与属性均不同,故它们之间的类耦合关系值定义为0.4。具体的服务活动的类耦合性定义如表2所示。

表2 服务活动的类耦合值定义

Table 2 Class coupling value definition for service activities

耦合程度	服务活动类耦合性描述	取值
强	2个服务活动特性相同,且功能与属性也相同	1.00
较强	2个服务活动特性相同,功能相同,但属性不同	0.70
中	2个服务活动特性相同,但功能与属性不同	0.40
弱	2个服务活动特性不同,且功能与属性也不同	0.00

3) 服务活动的流程耦合性。服务活动流程耦合是指服务活动在时间或者服务流程上具有一定的连续性,在某一定的连续时间内,服务活动在连续过程中完

成相同的服务。如汽车美容服务与汽车装饰服务在连续流程中完成的,其流程依赖性比较适中,故它们的类耦合关系值定义为0.5。具体的服务活动的类耦合关系定义如表3所示。

表3 服务活动的流程耦合值定义

Table 3 Process coupling value definition for service activities

耦合程度	服务活动流程耦合性描述	取值
强	2个服务活动的流程依赖性强	1.00
中	2个服务活动的流程依赖性适中	0.50
无	2个服务活动无流程依赖性	0.00

结合表1~3所定义的耦合关系值,可以得到任意2个服务活动*i*与*j*($i, j = 1, 2, L, n$)之间的综合耦合值:

$$S(i, j) = \begin{cases} \sum_{k=1}^m \omega_f S_f(i, j) + \sum_{i=1}^m \omega_l S_l(i, j) + \sum_{r=1}^m \omega_p S_p(i, j), & i \neq j; \\ 1, & i = j. \end{cases} \quad (1)$$

式中: $S(i, j)$ 表示任意2个服务活动之间的综合耦合值; ω_f, ω_l 和 ω_p 分别表示服务活动之间的功能耦合性、类耦合性和流程耦合性权重; $S_f(i, j), S_l(i, j)$ 和 $S_p(i, j)$ 分别表示服务活动*i*和*j*的功能耦合值、类耦合值和流程耦合值。

并且有:

$$\omega_f + \omega_l + \omega_p = 1. \quad (2)$$

由此建立服务活动之间的综合耦合关系矩阵*S*:

$$S = \begin{bmatrix} S(1,1) & S(1,2) & L & S(1,n) \\ S(2,1) & S(2,2) & L & S(2,n) \\ M & M & M & M \\ S(n,1) & S(n,2) & L & S(n,n) \end{bmatrix}.$$

式中: $0 \leq S(i, j) \leq 1, S(i, j) = S(j, i), (i, j = 1, 2, L, n)$ 。

3 基于模糊聚类算法汽车服务活动聚类

复杂机械具有功能复杂、结构多样和服务范围广泛的特点,针对其服务活动聚类过程涉及多领域耦合,为实现复杂机械产品服务系统配置设计,为顾客提供更加满意的“产品+服务”方案,进行服务活动聚类是具有研究价值的。

3.1 服务活动获取

以汽车为例,从汽车产品全生命周期考虑,汽车服务应包括售前(汽车销售咨询、技术咨询服务等)、售中(金融信贷、代办车牌等)、售后(汽车专业维修服务、汽车备件供应、汽车质保等)。实现汽车服务活动

聚类有利于提高汽车服务的效率,更好地满足客户需求。因此基于汽车产品服务系统的特点,搜集到的汽车服务活动如表4所示。

3.2 确定服务活动综合耦合矩阵

基于表4给定的汽车基本服务活动,对其进行功能耦合性、类耦合性和流程耦合性评价,并确定其权重因子。课题组取 $\omega_f = 0.50$, $\omega_l = 0.30$, $\omega_p = 0.20$,得到汽车服务活动综合耦合关系矩阵 S 如表5所示。如 $S_f(1,5) = 0.5$, $S_l(1,5) = 0.4$, $S_p(1,5) = 0.0$,则 $S(1,5) = 0.5 \times 0.5 + 0.3 \times 0.4 + 0.2 \times 0 = 0.37$ 。

表5 汽车服务活动综合耦合关系矩阵

Table 5 Comprehensive coupling relation matrix of automobile service activities

活动 代号	$S(i,j)$													
	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_1	1.000	0.125	0.000	0.000	0.370	0.370	0.000	0.000	0.370	0.000	0.125	0.000	0.000	0.125
S_2	0.125	1.000	0.000	0.000	0.245	0.245	0.000	0.000	0.245	0.000	0.775	0.000	0.000	0.685
S_3	0.000	0.000	1.000	0.125	0.000	0.000	0.370	0.125	0.000	0.685	0.000	0.685	0.125	0.000
S_4	0.000	0.000	0.125	1.000	0.000	0.000	0.125	0.775	0.000	0.125	0.000	0.125	0.685	0.000
S_5	0.370	0.245	0.000	0.000	1.000	0.685	0.000	0.000	0.685	0.000	0.370	0.000	0.000	0.125
S_6	0.370	0.245	0.000	0.000	0.685	1.000	0.000	0.000	0.685	0.000	0.125	0.000	0.000	0.125
S_7	0.000	0.000	0.370	0.125	0.000	0.000	1.000	0.370	0.000	0.245	0.125	0.370	0.125	0.000
S_8	0.000	0.000	0.125	0.775	0.000	0.000	0.370	1.000	0.000	0.370	0.000	0.125	0.685	0.000
S_9	0.370	0.245	0.000	0.000	0.685	0.685	0.000	0.000	1.000	0.000	0.370	0.000	0.000	0.125
S_{10}	0.000	0.000	0.685	0.125	0.000	0.000	0.245	0.370	0.000	1.000	0.000	0.470	0.125	0.000
S_{11}	0.125	0.775	0.000	0.000	0.370	0.125	0.125	0.000	0.370	0.000	1.000	0.000	0.000	0.560
S_{12}	0.000	0.000	0.685	0.125	0.000	0.000	0.370	0.125	0.000	0.470	0.000	1.000	0.125	0.000
S_{13}	0.000	0.000	0.125	0.685	0.000	0.000	0.125	0.685	0.000	0.125	0.000	0.125	1.000	0.000
S_{14}	0.125	0.685	0.000	0.000	0.125	0.125	0.000	0.000	0.125	0.000	0.560	0.000	0.000	1.000

3.3 FCM 算法原理与步骤

基于目标函数的模糊 C-均值聚类算法(Fuzzy C-Means,简称 FCM 算法)是一种非线性规划问题,它将聚类问题简化为约束问题,通过逐步迭代优化求解得到数据的模糊划分与聚类。在众多的模糊聚类算法中,FCM 算法理论最为完善、应用最为广泛。

针对上述问题,设定要把 X (基本服务活动集)划分成 $c(2 \leq c \leq n)$ 类,同时设定 c 个聚类中心 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_c\}$,取 d_{ik} 为服务活动 x_k 与聚类中心 v_i 的欧氏距离,记为:

$$d_{ik} = \|x_k - v_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^s (x_{kj} - v_{ij})^2} \quad (3)$$

目标函数为:

$$\min J_{\text{FCM}}(X, U, V) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m (d_{ij})^2 \quad (4)$$

式中: u_{ik} 表示服务活动在类 i 中的隶属度,且有 $\sum_{i=1}^c u_{ik} = 1$ 。

表4 汽车基本服务活动

Table 4 Basic automotive service activities

活动代号	服务活动	活动代号	服务活动
S_1	汽车销售咨询	S_8	汽车导航服务
S_2	汽车美容服务	S_9	汽车租赁服务
S_3	部件回收服务	S_{10}	汽车专业维修服务
S_4	远程监控服务	S_{11}	汽车装饰服务
S_5	技术咨询服务	S_{12}	备件供应服务
S_6	购车融资服务	S_{13}	GPS定位服务
S_7	汽车质保服务	S_{14}	汽车上使用办公用品

m 是模糊因子,用来确定聚类结果模糊程度的权重指数, $m \in [1, \infty]$,一般取 $m = 2$ 。

结合以上公式得到模糊矩阵 U 和聚类中心 V 更新公式为:

$$u_{ik} = \frac{\|x_k - v_i\|^{\frac{2}{m-1}}}{\sum_{j=1}^c \|x_k - v_j\|^{\frac{2}{m-1}}} \quad (5)$$

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m \cdot x_k}{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m} \quad (6)$$

FCM 算法是通过更新 u 和 v 来优化目标函数的,计算步骤如下:

- 1) 步骤1。初始化,给定聚类类数 c 。设定 m 和停止阈 ε 及迭代次数 T ,并初始化聚类中心 $v^{(l)}(l = 0)$ 。
- 2) 步骤2。根据 $v^{(l)}$,并由式(4)更新模糊矩阵 U^{l+1} 得:

$$u^{(i+1)} = \left(\frac{d_{ik}^{(l)}}{\sum_{j=1}^n d_{ik}^{(l)}} \right)^{\frac{2}{m-1}} \quad (7)$$

3) 步骤3。根据 $U^{(l)}$, 由式(5) 计算新的聚类中心矩阵 $V^{(l+1)}$ 。

4) 步骤4。根据给定的停止阈值判断, 若

$|V^{l+1} - V^{(l)}| \leq \varepsilon$, 则停止迭代, 否则 $l = l + 1$, 并转到步骤2。

3.4 汽车服务活动聚类

运用公式(3)~(7), 将表5的汽车服务活动耦合矩阵在 MATLAB 中运算, 得出不同的汽车服务活动聚类方案, 如表6所示。

表6 不同的汽车服务活动聚类方案

Table 6 Different clustering schemes for automobile service activities

服务行为 集合编号	聚类方案					
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
1	$S_1, S_2, S_5, S_6, S_9, S_{11}, S_{14}$	S_1, S_5, S_6, S_9	S_1, S_5, S_6, S_9	S_1	S_1	S_1
2	S_3, S_7, S_{10}, S_{12}	S_2, S_{11}, S_{14}	S_2, S_{11}, S_{14}	S_2, S_{11}, S_{14}	S_2, S_{11}	S_2, S_{11}
3	S_4, S_8, S_{13}	S_3, S_7, S_{10}, S_{12}	S_3, S_7, S_{10}, S_{12}	S_3, S_{10}, S_{12}	S_3, S_{10}, S_{12}	S_3, S_{12}
4		S_4, S_8, S_{13}	S_4, S_8, S_{13}	S_4, S_8, S_{13}	S_4, S_8, S_{13}	S_4, S_8, S_{13}
5			S_7	S_5, S_6, S_9	S_5, S_6, S_9	S_5, S_6, S_9
6				S_7	S_7	S_7
7					S_{14}	S_{10}
8						S_{14}

4 基于 TOPSIS 服务活动聚类方案评价

逼近理想解法 (technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS) 是 Hwang 和 Yoon 于 1981 年提出的。TOPSIS 法将有限数量的评价对象按照其与理想化目标的接近程度进行排序, 是在现有对象中进行相对优势和劣势的评价。

4.1 聚类方案评价矩阵的确定

通过对服务活动的聚类, 笔者已经得到 6 种方案。然而复杂机械产品服务系统的功能独立性、系统稳定性及服务行为集合粒度大小等对后续产品服务系统配置设计有很大的影响, 因此对服务活动聚类结果进行评价是十分必要的。故确定初始服务活动聚类方案集 F , 记作 $F = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6\}$ 。语义评价与模型集对应关系如表 7 所示。

进行服务活动聚类方案评价时, 应该首先确定评价准则。评价准则的选取对于配置出客户满意度最大

的服务活动聚类方案至关重要。在总结经验的基础上, 确定评价准则集 $Z = \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5\}$ 。其中 $Z_1 \sim Z_5$ 分别表示服务行为集合功能独立性、服务系统稳定性、服务行为集合粒度适宜性、服务执行成本和服务系统可靠性。采用三角模糊数来处理语义评价, 这样可以有效地减少语义评价的不确定性与模糊性。基于表 7 的模糊对应关系对每个聚类方案进行评价, 得到表 8 的综合模糊评价矩阵 R 。

表7 语义评价与模糊集对应关系

Table 7 Correspondence between semantic assessment and Fuzzy set

评价语言	三角模糊数
很高	(0.8, 0.9, 1.0)
高	(0.6, 0.7, 0.8)
中	(0.4, 0.5, 0.6)
低	(0.2, 0.3, 0.4)
很低	(0.0, 0.1, 0.2)

表8 服务活动聚类方案的综合模糊评价矩阵 R

Table 8 Comprehensive Fuzzy evaluation matrix R for clustering schemes of service activities

r_{ij}	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
F_1	(0.0, 0.1, 0.2)	(0.0, 0.1, 0.2)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.0, 0.1, 0.2)	(0.0, 0.1, 0.2)
F_2	(0.0, 0.1, 0.2)	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.2, 0.3, 0.4)
F_3	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.8, 0.9, 1.0)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.6, 0.7, 0.8)
F_4	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.8, 0.9, 1.0)	(0.8, 0.9, 1.0)
F_5	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.6, 0.7, 0.8)
F_6	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.0, 0.1, 0.2)	(0.0, 0.1, 0.2)	(0.2, 0.3, 0.4)

4.2 基于 TOPSIS 的划分方案排序

由经验给定 $Z_1 \sim Z_5$ 的权重, 分别为 $\omega = (0.3,$

$0.3, 0.2, 0.1, 0.1)$, 由 $A = R \cdot \omega$ 得加权规范阵 A 如

表 9 所示。

表 9 加权规范阵 A Table 9 Weighted gauge matrix A

a_{ij}	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
F_1	(0.00, 0.03, 0.06)	(0.00, 0.03, 0.06)	(0.08, 0.10, 0.12)	(0.00, 0.01, 0.02)	(0.00, 0.01, 0.02)
F_2	(0.00, 0.03, 0.06)	(0.06, 0.09, 0.12)	(0.12, 0.14, 0.16)	(0.02, 0.03, 0.04)	(0.02, 0.03, 0.04)
F_3	(0.18, 0.21, 0.24)	(0.24, 0.27, 0.30)	(0.12, 0.14, 0.16)	(0.06, 0.07, 0.08)	(0.06, 0.07, 0.08)
F_4	(0.12, 0.15, 0.18)	(0.18, 0.21, 0.24)	(0.08, 0.10, 0.12)	(0.08, 0.09, 0.10)	(0.08, 0.09, 0.10)
F_5	(0.06, 0.09, 0.12)	(0.06, 0.09, 0.12)	(0.04, 0.06, 0.08)	(0.04, 0.05, 0.06)	(0.06, 0.07, 0.08)
F_6	(0.12, 0.15, 0.18)	(0.06, 0.09, 0.12)	(0.00, 0.02, 0.04)	(0.00, 0.01, 0.02)	(0.02, 0.03, 0.04)

利用逼近理想解法 (TOPSIS) 来对聚类方案进行排序。其中正负理想解确定方法如下:

对于效应型指标, 其正理想解是越大越好, 故取其较大值为正理想解; 负理想解是越小越好, 故取其较小值为负理想解。而对于成本型指标, 正理想解是越小越好, 取其较小值为正理想解; 负理想解是越大越好, 取其较大值为负理想解。

评价准则服务执行成本 Z_4 是成本型指标, 而其余评价准则均为效益型指标。由此可得, 服务活动聚类方案的正负理想解:

$$x_j^+ = \{(0.18, 0.21, 0.24), (0.24, 0.27, 0.30), (0.12, 0.14, 0.16), (0.00, 0.01, 0.02), (0.08, 0.09, 0.10)\};$$

$$x_j^- = \{(0.00, 0.03, 0.06), (0.00, 0.03, 0.06), (0.00, 0.02, 0.04), (0.08, 0.09, 0.10), (0.00, 0.01, 0.02)\}。$$

式中: x_j^+ 和 x_j^- 分别为正理想解和负理想解。

根据公式(8)^[13] 计算各方案与正负理想解的欧式距离:

$$F_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_j^+)^2}; \quad (8)$$

$$F_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_j^-)^2}。$$

从式(8) 可得:

$$F_i^+ = (0.313\ 0, 0.262\ 3, 0.063\ 2, 0.123\ 3, 0.234\ 9, 0.232\ 4);$$

$$F_i^- = (0.113\ 1, 0.148\ 3, 0.329\ 2, 0.244\ 1, 0.118\ 3, 0.157\ 5)。$$

据此由公式(9) 计算相对贴近度并对服务活动聚类方案进行排序:

$$C_i = \frac{F_i^-}{F_i^- + F_i^+}。 \quad (9)$$

各聚类方案的相对贴近度分别为:

$$C_1 = 0.265\ 5, C_2 = 0.361\ 2, C_3 = 0.838\ 9,$$

$$C_4 = 0.664\ 4, C_5 = 0.334\ 9, C_6 = 0.403\ 9。$$

服务活动聚类方案基于 TOPSIS 法排序: $C_3 > C_4 > C_6 > C_2 > C_5 > C_1$ 。可以看到汽车服务活动聚类方案 F_3 的相对贴近度最高, 为 0.838 9。同时在与正理想解的距离中, 方案 F_3 与正理想解之间的距离最近, 为 0.063 2。而考虑与负理想解的距离, 方案 F_3 与负理想距离最远, 为 0.329 2, 因此方案 F_3 远远优于其他方案。方案 F_3 将服务活动聚合为 5 个服务行为集合, 具体聚类结果如图 2 所示。此时服务执行成本较低, 服务行为集合功能完备, 服务行为集合粒度较适宜, 服务系统稳定性和可靠性都很高。这充分体现了 TOPSIS 的优势, 在所给方案中选出最优的服务活动聚类方案。

5 结语

1) 课题组将复杂机械产品服务划分为服务、服务功能集合、服务行为集合和服务活动 4 层层级结构, 并综合考虑汽车服务活动之间的功能耦合性、类耦合性和流程耦合性, 建立服务活动综合耦合关系矩阵; 采用模糊聚类方法对服务活动进行聚类, 得出 6 个可能服务活动聚类方案。

2) 为充分考虑语义评价的不确定性与模糊性, 采用三角模糊数对汽车服务活动聚类方案进行评价, 得出综合模糊评价矩阵, 并基于此利用逼近理想解法计算相对贴近度对服务活动聚类方案排序, 得出最优汽车服务活动聚类方案。

课题组利用模糊聚类方法获得聚类方案, 然后利用 TOPSIS 对方案排序, 获得最优的服务活动聚类方案。该方案为后续产品服务系统配置设计打基础, 实现产品和服务的优化配置。

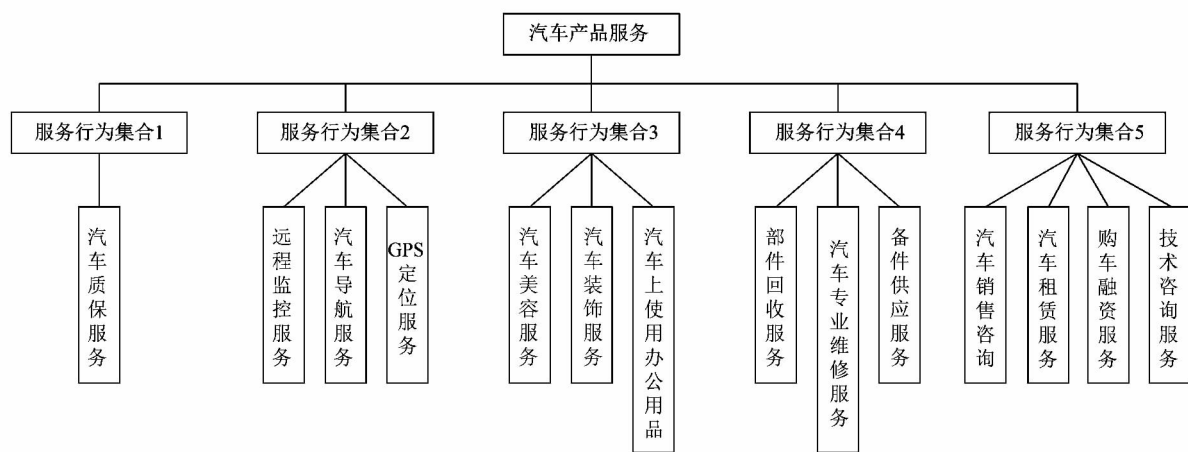


图2 汽车产品服务系统服务活动聚类结果

Figure 2 Clustering results of service activities in automotive product service system

参考文献:

- [1] MEDINI K, BOUCHER X. Configuration of product-service systems value networks - evidence from an innovative sector for sludge treatment [J]. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2016, 12: 14 - 24.
- [2] MOURTZIS D, DOUKAS M. Design and planning of manufacturing networks for mass customisation and personalisation: challenges and outlook [J]. Procedia CIRP, 2014, 19: 1 - 13.
- [3] 李浩, 纪杨建, 祁国宁, 等. 制造与服务融合的内涵、理论与关键技术体系 [J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16 (11): 2521 - 2529.
- [4] 王海军, 孙宝元, 王吉军, 等. 面向大规模定制的产品模块化设计方法 [J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10 (10): 1171 - 1176.
- [5] MONT O K. Clarifying the concept of product - service system [J]. Journal of Cleaner Production, 2002, 10 (3): 237 - 245.
- [6] 朱琦琦, 江平宇, 张朋, 等. 数控加工装备的产品服务系统配置与运行体系结构研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15 (6): 1140 - 1147.
- [7] 张建民, 周俊, 刘卫艳. 机械产品设计的模块划分方法研究 [J]. 化工自动化及仪表, 2017, 44 (3): 253 - 257.
- [8] 罗石林, 何苗, 李建尧, 等. 基于模糊综合评价法的农机零件关联度计算及模块划分 [J]. 中国农业科技导报, 2019, 21 (2): 71 - 81.
- [9] 张楠. 基于遗传模拟退火算法的机电产品模块划分方法及平台构建研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015: 20 - 32.
- [10] 张伟, 周俊. 基于模块化的产品服务系统设计方法研究 [J]. 轻工机械, 2014, 32 (5): 122 - 125.
- [11] 张在房, 孙建, 尚钰量. 基于功能需求的产品服务系统模块化聚类研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017 (8): 152 - 156.
- [12] 李浩. 广义产品模块划分与融合的关键技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 43 - 75.
- [13] 黄智力, 罗键. 基于群体理想解的三角模糊数群体多属性决策 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2011, 50 (5): 817 - 822.

www.QCtester.com

因为专业，所以权威

因为用心，所以收获更多

扫一扫 加入我们



杭州轻工技师学院

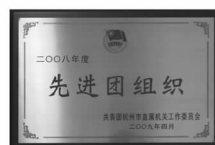
Hangzhou Qingong Technical School

自强文明 团结进步

【学校概况】

杭州市轻工高级技工学校隶属于杭州市人力资源和社会保障局，是一所集学历教育、技能培训与鉴定为一体的多功能、综合性的高级技工学校。建校50多年来，学校始终坚持以就业为导向、以技能为核心的办学理念，面向市场办学，不断提升办学层次，努力提高办学满意度。

学校地处杭州市中心，地理位置优越，交通便捷，建筑面积共计36 905.12平方米，在校学生2 256人。学校师资队伍结构合理，教师132名，专职教师86名，其中，具有高级职称的教师占20.4%，中级职称的教师占27.3%。现开设专业有：药物制剂、数控加工、机械设备装配与自动控制、服装设计与制作、装潢艺术设计、计算机网络应用、会计7个专业。



地址：浙江省杭州市莫干山路102号 邮编310011 校长：杨国强 电话：0571-85192066 网址：www.hzqgjx.com

《轻工机械》2020 年征订启事

《轻工机械》杂志(刊号:CN 33-1180/TH, ISSN 1005-2895),创刊于1983年,由中国轻工机械协会、中国联合装备集团有限公司与轻工业杭州机电设计研究院联合主办,是一份在国内有较高影响力、历史悠久的轻工机械领域的专业性科技期刊。以报道轻工机械、自动化技术、机电一体化、工艺设计及其应用为特色。

- 双月刊,大16开,每册定价10.00元,全年60.00元。
- 邮局订阅(代号32-39),也可直接向本编辑部邮购(另加邮费2元/本)。
- 编辑部地址:杭州市余杭区高教路970号西溪联合科技广场4号楼711 邮编:311121
- 电话:(0571)85186130 85187520 E-mail: qgjxzz@126.com
- 网址:www.qgjxzz.com
- 开户银行:工行杭州建国北路支行
- 户头:轻工业杭州机电设计研究院 帐号:1202022209014428297
- 税号:913300007236292912

本刊系中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊),已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”、“万方数据资源系统”、“中文科技期刊数据库”,并被英国《科学文摘》(SA, INSPEC)、美国化学文摘(CA)、美国剑桥科学文摘(CSA)、美国乌利希期刊指南(Ulrich)、《中国学术期刊文摘》等收录。

欢迎订阅 ● 欢迎刊登广告 ● 欢迎赐稿