

基于粗集的制造服务链组装机制造发现方法^①

张 卫^② 潘晓弘^③ 顾玉琦 叶建芳 周东君

(浙江大学机械工程学系工业工程中心 杭州 310027)

摘 要 针对制造服务链组装问题,提出了基于软构件思想的制造服务链组装模型。该模型从平台运营角度将制造服务按照企业用户需要组装成特定的制造服务链。提出了基于信息熵粗集理论的制造服务链组装机制造发现方法,该方法通过组装知识发现系统支持制造服务链组装过程中的知识获取和决策支持,为组装实施提供了知识保证。通过某制造企业 6 个制造服务链组装机制造样本实例分析,表明用信息熵粗集理论获取的组装机制造具有良好的适应性,并验证了制造服务链组装知识发现系统的有效性。

关键词 制造服务链, 服务链组装, 组装机制造, 知识获取, 粗集理论

0 引 言

制造服务工程是指通过信息技术,利用广泛的知识和经验为制造业提供服务的系统工程。沿着制造企业的产业链可以清晰地看到一条制造服务链,制造服务链为制造企业在产品全生命周期过程中提供服务。制造服务是制造业和服务业高度融合的产物,其内涵是服务企业面向制造企业的服务和制造企业面向客户的服务。前者以生产性服务为基础,对制造企业生产过程中的所有活动提供不同程度的服务,如技术服务、信息服务、物流服务等;后者以制造业服务化为基础,对制造企业在整个产业链上运作过程中与客户相关的价值增值活动提供的服务,如售后服务、卖服务、产品服务相结合等。制造服务的对象是制造企业和客户,服务的核心在于管理创新。制造服务的内涵随着社会发展和技术进步不断扩展。在全球制造产业链整合过程中,制造服务链为制造活动的各个阶段提供服务,从而能够大大提高企业竞争力,并且具有强大的支持能力和良好的适应性、智能性以及全局性^[1]。

波兰华沙理工大学的 Pawlak 教授基于“知识(人的智能)就是一种分类能力”的观点,于 1982 年开创性地提出了粗集理论^[2,4]。它是一种刻划不完整性和不确定性的数学工具,能有效地分析不精

确、不一致、不完整的各种不完备的信息,还可以对数据进行分析 and 推理,从中发现隐含的知识,揭示潜在的规律。粗集理论具有很强的定性分析能力,能够有效地表达不确定的或不精确的知识,善于从数据中获取知识,并能利用不确定、不完整的经验知识进行推理等,因此在产品制造^[5]、机械设计^[6]、规则生成^[7,8]、数据挖掘、决策分析、智能控制等领域获得了广泛应用。1948 年,Shannon 提出并发展了信息论,研究以数学的方法度量并研究信息,通过熵来度量信息量的大小,产生了信息熵的概念^[9]。1979 年,Quinlan 提出以信息熵的下降速度作为选取测试属性的标准的 ID3 学习算法是知识发现决策树^[10]的经典方法之一。由于利用信息熵来度量知识可以增强信息系统或决策表中知识的可理解性^[11],本文研究了将信息熵粗集理论用于制造服务链组装的问题,提出了基于粗集理论的制造服务链组装机制造发现方法,旨在为制造服务链组装提供知识保证,克服对经验的过分依赖。

1 制造服务链组装

制造服务链是将若干个制造服务软构件按照相关的计划和规则组装而成的有序集合。制造服务软构件是对制造服务业务情况抽取后,从管理方面构建的信息单元,能够驱动制造服务问题所表示的制

① 863 计划(2011AA040601)和浙江省重大科技专项(2008C01060)资助项目。

② 男,1977 年生,博士;研究方向:制造服务技术;E-mail: zw373737@126.com

③ 通讯作者, E-mail: pan_xh@zju.edu.cn

(收稿日期:2011-05-03)

离散分割、概念划分,然后调用推理机和解释器,将结论及结论的解释提供给用户。推理即根据已知事实,利用知识库中的指示求出问题的解,并将问题的解提交给用户。解释的功能是记载推理机的求解过程,整理出问题求解的依据,并将其提供给用户。

(5)背景知识获取模块,知识挖掘并不能发现所有专家知识,背景知识获取模块可供用户对知识库进行必要的补充。

2.2 制造服务链组装机制的知识获取过程

制造服务链组装的核心问题在于组装知识的获取,即从已有的组装知识样本值中发现有用的知识,作为新的组装知识支持更多的制造服务链组装。粗集理论将知识理解为对数据的划分,每一被划分的集合称为概念,其主要思想是利用已知的知识库,将不精确或不确定的知识用已知的知识库中的知识来(近似)刻画。该理论与其他处理不确定和不精确问题理论的最显著的区别是它无需提供问题所需处理的数据集合之外的任何先验信息,所以对问题的不确定性的描述或处理可以说是比较客观的。下面采用粗集理论以组装机制为例说明制造服务链组装知识的获取。

粗集理论是建立在分类机制的基础上的,它将分类理解为在特定空间上的等价关系,而等价关系构成了对该空间的划分。基于粗集理论的制造服务链组装机制获取过程是将每个制造服务链的组装机制输入组装机制库,通过粗集理论对组装机制库进行知识发现,将得到的可用知识输入组装机制库以供新制造服务链组装时查询使用。组装机制获取实质上是对组装决策表的一个求解约简、提取有用属性、简化属性表达、生成机制的过程,如图 3 所示。

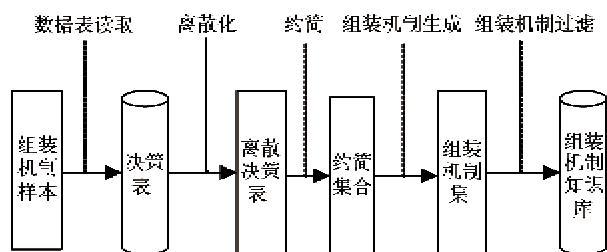


图 3 组装机制的知识获取过程

3 基于信息熵粗集的组装机制发现

设信息熵是某种特定信息的出现概率。知识可以认为是关于论域的各种划分模式,设 V 是论域, $X_1, X_2, \dots, X_n$ 是 V 的一个划分,其上有知识

$P(X_i \text{ 出现的概率为 } p_i)$ 的概率分布为

$$[X; p] = \left\{ \begin{matrix} X_1, & X_2, & \dots & X_n \\ p(X_1), & p(X_2), & \dots & p(X_n) \end{matrix} \right\} \quad (1)$$

则称

$$H(P) = - \sum_{i=1}^n p(X_i) \log_2 p(X_i) \quad (2)$$

为知识 P 的信息熵^[10]。

设四元组 $ards = (U, A, F, D)$ 是制造服务链的组装机制发现系统。 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 表示组装机制样本集, U 中的每个元素 $x_i (i \leq n)$ 表示一个组装机制样本; $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ 表示一个组装条件属性集, A 中的每个元素 $a_k (k \leq m)$ 表示一个组装条件属性; $F = \{f_k: u \rightarrow V_k (k \leq m)\}$ 表示 U 与 A 之间的映射关系集, f_k 表示组装条件属性值 $V_k (k \leq m)$ 之间的映射函数; $D: U \rightarrow V_d$ 表示组装机制样本与组装决策属性值 V_d 之间的映射函数。记 U 上的等价关系:

$$R_A = \{(x_i, x_j) \mid f_k(x_i) = f_k(x_j)\} \quad (3)$$

$$R_D = \{(x_i, x_j) \mid D(x_i) = D(x_j)\} \quad (4)$$

制定制造服务链组装机制就是确定条件属性和决策属性。对于两个制造服务软构件 P 和 Q 组装的条件属性定义为 a_1, a_2, a_3 , 其中 a_1 表示制造服务类,制造服务共分为 10 类:战略管理服务类、人力资源管理服务类、资源和知识管理服务类、产品设计服务类、制造过程管理服务类、产品加工服务类、协同制造过程服务类、商务运作服务类、物流配送服务类、售后服务类等; a_2 表示 P 和 Q 的调用优先等级,用最高、较高、高和不高来区别可调性; a_3 表示组装后得到的复合功能。决策属性定义为 d , 表示 P 和 Q 的组装机制。部分 a_3 和 d 的详细定义如表 1、表 2 所示。制造服务链组装机制决策信息表如表 3 所示。

表中 x_i 表示一个组装机制样本。一个制造服务链组装机制表示为:对于属于 a_1 的制造服务软构件 P 和 Q , 调用优先等级为 a_2 , 如果复合功能属于 a_3 , 则采用组装机制 d 来组装。

在组装机制发现系统 $ards = (U, A, F, D)$ 的实现步骤如下:

(1)计算信息熵值 $H(A)$ 与核 $core(A)$ 。根据组装机制样本值和公式(2)得到 $H(A)$ 。设 $B = \emptyset$, $core(A) = \emptyset, \forall \alpha \in A$, 如果 $H(\{\alpha\} \mid A \setminus \{\alpha\}) > 0$, 则

表1 部分制造服务链组装机制条件属性 a_3 详细定义

决策参数	名称	详细定义
a_3	复合功能1	同时提供两个软构件的功能
a_3	复合功能2	同时提供两个软构件的功能,但是在一定时间内,只能执行其中一个
a_3	复合功能3	提供同一软构件类型的多个实例同时并行执行
a_3	复合功能4	先执行 P 的功能行为,再执行 Q 的功能行为
a_3	复合功能5	先执行 P 的功能行为,一旦 Q 开始活动,则终止 P 的功能行为,执行 Q 的功能行为
a_3	复合功能6	各个软构件并行执行,但同时受到连接件的协调和制约
...	...	...

表2 部分制造服务链组装机制决策属性 d 详细定义

决策参数	名称	详细定义
d	组装机制1	软构件并行组装
d	组装机制2	软构件选择组装
d	组装机制3	软构件复制组装
d	组装机制4	软构件顺序组装
d	组装机制5	软构件中断组装
d	组装机制6	软构件连接组装
...	...	...

表3 制造服务链组装决策信息表设计

论域 U	条件属性 A			决策属性 D
	a_1	a_2	a_3	d
x_1	a_{11}	a_{21}	a_{31}	d_1
...	...	...	...	...
x_i	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	d_i
...	...	...	...	...
x_n	a_{1n}	a_{2n}	a_{3n}	d_n

$$\text{core}(A) \leftarrow \text{core}(A) \cup \{\alpha\} \quad (5)$$

遍历后得到 $\text{core}(A)$ 。

(2) 令 $B = \text{core}(A)$, 判断 $H(B) = H(A)$, 转到(5); 否则, 转到(3)。

(3) 计算属性重要度。 $\forall \alpha \in A - B$, 计算 α 相对于 B 基于信息熵的重要度, 计算公式为^[11]

$$\begin{aligned} \text{sig}(\alpha, B; A) &= H(B \cup \{\alpha\}) - H(B) \\ &= - \sum_{i=1}^{m_1} p(X_i) \log_2 p(X_i) + \sum_{i=1}^{m_2} p(Y_i) \log_2 p(Y_i) \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $\{p(X_i)\}_{i=1}^{m_1}, \{p(Y_i)\}_{i=1}^{m_2}$ 分别为知识 $B \cup \{\alpha\}$, B 的概率分布。然后取

$$\beta = \arg \max_{\forall \alpha \in A-B} \{\text{sig}(\alpha, B, A)\} \quad (7)$$

令 $B \leftarrow B \cup \{\beta\}$ 。

(4) 如果 $H(B) \neq H(A)$, 则转到(3)。

(5) 获得组装机制集, 即机制发现系统一个约简 $B \in \text{red}(A)$ 。

4 算例分析

假设某制造企业有6个制造服务链组装机制样本, 如表4所示, 则制造服务链组装机制发现过程如下:

表4 制造服务链组装决策信息表实例

域 U	条件属性			决策属性
	a_1	a_2	a_3	d
x_1	产品加工服务类	高	复合功能1	组装机制1
x_2	产品加工服务类	高	复合功能1	组装机制6
x_3	产品加工服务类	高	复合功能6	组装机制1
x_4	售后服务类	较高	复合功能1	组装机制6
x_5	产品加工服务类	高	复合功能1	组装机制1
x_6	售后服务类	较高	复合功能1	组装机制1

(1) 根据 U 上的等价关系 $R_A, R_D, R_{a_k} (a_k \in A, k \in (1, m))$, 列出各自所对应产生的 U 上的划分:

$$U / R_A = \{\{x_1, x_2, x_5\}, \{x_3\}, \{x_4, x_6\}\}$$

$$U / R_D = \{\{x_1, x_3, x_5, x_6\}, \{x_2, x_4\}\}$$

$$U / R_{a_1} = \{\{x_1, x_2, x_3, x_5\}, \{x_4, x_6\}\}$$

$$U / R_{a_2} = \{\{x_1, x_2, x_3, x_5\}, \{x_4, x_6\}\}$$

$$U / R_{a_3} = \{\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6\}, \{x_3\}\}$$

由 $U / R_A \leq U / R_D$ 不成立可知 $R_A \not\subseteq R_D$, 判断由表确定的组装机制决策信息系统为不协调组装机制决策信息系统。计算组装机制决策概率分布函数 $\mu_{a_k}(x_i) (a_k \in A, k \in (1, m))$ 和 $\mu_A(x_i)$, 如表5(组装机制决策分布函数)所示。

根据式(2)和表5数据得到的信息熵 $H(A) = -(0.8 \log_2 0.8 + 0.8 \log_2 0.8 + 0.6 \log_2 0.6) = 0.9572$ 。其余组装机制的信息熵计算方法类似。

(2) 计算组装机制决策最大分布。 $\eta_{a_k}(x_i) (a_k \in A, k \in (1, m))$ 和 $\eta_A(x_i)$ 如表6(组装机制决策的最大分布)所示。

表 5 组装决策分布函数

U	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
$\mu'_A(x_i)$	(0.7, 0.3)	(0.7, 0.3)	(1.0, 0.0)	(0.5, 0.5)	(0.7, 0.3)	(0.5, 0.5)
$\mu'_{a_1}(x_i)$	(0.8, 0.2)	(0.8, 0.2)	(0.8, 0.2)	(0.7, 0.3)	(0.8, 0.2)	(0.5, 0.5)
$\mu'_{a_2}(x_i)$	(0.8, 0.2)	(0.8, 0.2)	(0.8, 0.2)	(0.7, 0.3)	(0.8, 0.2)	(0.5, 0.5)
$\mu'_{a_3}(x_i)$	(0.6, 0.4)	(0.6, 0.4)	(1.0, 0.0)	(0.6, 0.4)	(0.6, 0.4)	(0.6, 0.4)

表 6 组装决策的最大分布

U	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
$\eta'_A(x_i)$	$\{D_1\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$
$\eta'_{a_1}(x_i)$	$\{D_1\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$
$\eta'_{a_2}(x_i)$	$\{D_1\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$
$\eta'_{a_3}(x_i)$	$\{D_1\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$

(3) 遍历 A 的所有子集 B_s , 分别计算 $M_A(x)$ 、 $M_{B_s}(x)$ 和 B 。得到表 7(组装机决策上的近似分布)。其中 $M_A(x) = \{D_j | [x]_A \cap D_j \neq \emptyset\}$ 、

$= \{D_j | [x]_{B_s} \cap D_j \neq \emptyset\}$, 得到表 7(组装决策上的近似分布)。

表 7 组装决策上的近似分布

U	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
$M'_A(x_i)$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$
$M'_{a_1}(x_i)$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$
$M'_{a_2}(x_i)$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$
$M'_{a_3}(x_i)$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$	$\{D_1, D_2\}$

$\{a_1, a_3\}$ 和 $\{a_2, a_3\}$ 是分布约简, $\{a_1\}$ 和 $\{a_2\}$ 是组装机决策最大分布约简集, $\{a_3\}$ 是组装机决策分配约简集, 归纳得到相对较粗粒度的制造服务链组装机。因此, 由以上约简可得较粗粒度的制造服务链组装机: 售后服务类软构件 P 和 Q 的组装机可选调用优先等级较高的组装机制即“组装机制 1”; 而复合功能 1 的组装机制可选较优的组装机制即“组装机制 1”或“组装机制 6”。

5 结 论

本文将信息熵用于制造服务链组装问题, 提出了基于粗集理论的组装机发现方法。该方法克服了以往决策者过分依赖专家经验的不足, 并且将组装知识获取融于组装机发现系统中形成智能化决策分析, 有效支持制造服务链的组装过程。最后通过实例证明了该方法的可行性和有效性。

参考文献

[1] 王景峰, 王刚, 吕民等. 基于产品结构的制造服务链构

建研究. 计算机集成制造系统, 2009, 15(6): 1222-1236

- [2] Pawlak Z. Rough sets. *International Journal of Parallel Programming*, 1982, 11(5): 341-356
- [3] Pawlak Z, Grzymala-Busse, Slowinski R, et al. Rough sets. *Communications of the ACM*, 1995, 38(11): 88-95
- [4] Pawlak Z. Rough classification. *International Journal of Human-Computer Studies*, 1999, 8(51): 369-383
- [5] 武守飞, 王正肖, 潘晓弘等. 基于粗集理论的产品属性定制权重确定方法. 浙江大学学报: 工学版, 2009, 43(12): 2250-2253, 2273
- [6] 王忠浩, 邵新宇, 张国平等. 基于粗糙集神经网络的产品族配置性能预测方法. 机械工程学报, 2007, 43(5): 85-90
- [7] 赵军. 基于粗集理论的 KDD 技术研究: [博士学位论文]. 重庆: 重庆大学计算机科学与工程学院, 2003. 77-80
- [8] 王长忠, 陈德刚. 基于粗糙集的知识获取理论与方法. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2010. 85-97
- [9] Shannon C E. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 1948, 27(7): 379-423

- [10] Quinlan J R. Discovering Rules from Large Collections of Examples: A Case Study. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1979. 244-278
- [11] Miao D Q. Analysis on attribute reduction strategies of rough set. *Journal of Computer Science & Technology*, 1998, 13(2):189-194

A rough set based method for discovery of the mechanism for assembling a manufacturing service chain

Zhang Wei, Pan Xiaohong, Gu Yuqi, Ye Jianfang, Zhou Dongjun

(Industrial Engineering Center, Department of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract

A model for manufacturing service chain assembly based on the soft component thought is proposed. This model assembles the manufacturing services from the angle of platform operation into the specific manufacturing service chain according to the needs of enterprise users. A method for discovery of the mechanism for assembling a manufacturing service chain is proposed based on the information entropy rough set theory. The method supports the knowledge acquisition and policy-making in the manufacturing service chain assembly process through the assembly knowledge discovery system, providing the knowledge guarantee for the assembly implementation. The analyses of a certain manufacturing firm's six mechanism examples for assembling manufacturing service chains, indicate that the mechanism discovered based on the information entropy rough set theory has the good compatibility, and verify that the system for discovery of manufacturing service chain assembly knowledge is effective.

Key words: manufacturing service chain, service chain assembly, assembly mechanism, knowledge acquisition, rough set theory