

文章编号:1001-9081(2008)08-2125-03

网络化制造领域本体知识建模的研究

张 权¹,姚 远¹,胡庆夕^{1,2},尤 飞²

(1. 上海大学-华中科技大学 快速制造工程中心,上海 200444; 2. 上海大学 机电工程与自动化学院,上海 200444)
(zqbuaa@163.com)

摘 要:针对目前网络化制造环境下,服务描述、发现过程中语义信息动态表达不足的问题,从 Web 服务的角度提出了一个基于本体的制造领域知识建模方法,并在此基础上构建制造领域本体模型,最后给出应用实例。重点研究解决了制造服务过程中不同对象间的信息交流、数据交换和知识资源重用三个问题,有效地实现网络制造环境下资源共享与优化配置,为基于语义的网络协同制造服务平台的构建奠定了基础。

关键词:网络化制造;Web 服务;制造本体;知识建模;领域建模

中图分类号: TP393;TP182 **文献标志码:** A

Ontology-based knowledge modeling in network manufacturing

ZHANG Quan¹, YAO Yuan¹, HU Qing-xi^{1,2}, YOU Fei²

(1. Rapid Manufacturing Engineering Center, Shanghai University, Shanghai 200444, China;
2. College of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: The lacking of semantic expression is a bottleneck of current Web service based manufacturing solution. It is not easy to dynamically discover appropriate services from different service providers. A method of ontology-based knowledge modeling was put forward. It combines Web service with network manufacturing service and the service-driven manufacturing ontology model is constructed by applying the method. The evaluation method of approximate service matchmaking was also developed, and a case was given to demonstrate the above mentioned. The study solves three problems during the manufacturing service process, which are communication between different roles, data exchange and reuse of knowledge resource. The share and the configuration optimization of distributed manufacturing resources were realized in the networked manufacturing environment. It lays the foundation for the construction of the semantic Web-based collaborative manufacturing service platform.

Key words: network manufacturing; Web service; manufacturing ontology; knowledge modeling; domain modeling

0 引言

网络化制造作为一种先进制造技术与网络技术结合的先进制造模式,其核心是在网络环境下,通过企业间的资源共享、优化组合实现制造过程集成和异地协同制造。网络化制造的关键在于制造资源的表示和发现。

然而,随着网络化制造资源信息的数量和复杂程度的不断提升,企业在协作服务过程中既要共享数据和信息,也要共享知识。本体论为实现知识共享提供了有效的支持。源于哲学范畴的本体论(Ontology)用于描述事物存在的本质^[1]。本体有良好的概念层次结构和对逻辑推理的有效支持,并且能从语义和知识层次上描述信息系统的概念模型,被广泛地应用于知识工程、信息检索、智能信息集成、知识管理和信息安全等领域^[2]。然而有关制造领域本体开发的研究还相对比较较少,而且建立一个全面和一致的制造本体模型是一个漫长而复杂的过程。

目前,在网络化制造领域中其服务资源的描述依然存在着一些不足:1)现有的资源描述侧重于静态结构,缺乏动态关系的描述;2)信息表达不易被机器识别;3)网络化制造环

境下,企业间制造环境的差异造成知识理解、结构及其表达方式的差异;4)现有知识模型不能有效地支持企业间协作,缺乏协作模式的描述;5)缺乏针对动态的 Web 服务匹配和组合的有效支持。

网络化制造中的协同过程涉及复杂的领域知识表达与识别、关系语义定义、知识获取等三方面的问题。本文针对以上问题对基于服务的网络化制造协作机制进行了深入研究,提出了基于本体构建面向服务的企业制造资源知识模型的方法,将网络化制造本体引入到网络化制造服务中,用于解决 Web 环境下企业服务资源的定义、描述和发现等实现资源优化配置的关键问题。

1 网络化制造领域的本体

本体作为对概念化的显式的详细说明,其核心是一个领域内公认的概念实体的有限集合,领域内的语义信息通过概念实体之间的关联关系来表达^[3]。本体的主要特性是捕获相关领域的知识,确定该领域内共同认可的词汇,从不同层次给出这些词汇和词汇间相互关系的明确定义,通过概念之间的关系很好地表达语义。

收稿日期:2007-10-31;修回日期:2008-03-14。

基金项目:上海市科委基础重点项目(02JC14033);上海大学研究生创新基金项目(A-16010907010)。

作者简介:张权(1981-),男,江苏扬州人,硕士研究生,主要研究方向:快速制造、现代制造集成;姚远(1978-),男,黑龙江哈尔滨人,讲师,博士,主要研究方向:虚拟制造、面向服务的分布式制造系统;胡庆夕(1959-),男,河南焦作人,教授,博士生导师,主要研究方向:并行工程、仿生制造、虚拟制造、现代集成制造;尤飞(1973-),男,江苏常州人,副教授,博士研究生,主要研究方向:图像处理、仿生制造。

目前,比较有代表性的有:美国 Stanford 大学知识系统实验室给出的知识库系统中包含了一个企业本体的定义^[4];加拿大多伦多大学的构建企业本体的研究项目 TOVE 实现对企业相关的常识性问题推理演绎的功能^[5];英国拉夫堡大学 H. K. Lin 等提出的 MSE 本体,作为企业协作过程中知识重用的中间本体^[6];浙江大学蔡铭等针对网络化制造环境下制造资源发现技术给出了一个网络化制造本体^[7]等,但制造服务在描述方面都存在着上述的不足,缺乏对企业资源动态描述和对企业协作模式的支持。

网络化制造本体不需要对企业内部结构提供全面描述,而是侧重描述企业资源的动态变化过程,以及对外提供服务的接口以及匹配组合关系,使外界能准确、方便地获取到企业所能提供的核心资源和服务信息。本文在制造本体知识建模的过程中将服务匹配组合因素考虑其中,将企业能力刻画为一种动态过程的描述,提出面向服务的本体建模方法。

2 制造本体的构建

2.1 制造服务本体建模分析

本体主要由概念和关系组成:概念表示领域中的一组或一类实体,通常用类来表示;关系描述概念之间或概念的属性之间的相互作用,如“is-a”、“is-part-of”等。本文将服务理念与企业协作项目的特点联系在一起,提出面向服务的制造本体模型的构建方法。虽然各个企业都不尽相同,但都有着最原始的、共同的特征。面向网络化制造服务的需求,本文以核心的 6 个基础类来描述制造企业内部以及企业协作间的动态联系,构建出制造服务本体模型。如图 1 所示,其中箭头表示这 6 个抽象类之间的层次和动态关系,其中 Enterprise、Process 和 Resource 主要针对制造企业内部知识模型描述,而 Enterprise_alliance、Project 和 Strategy 则主要面向网络服务的模型描述。

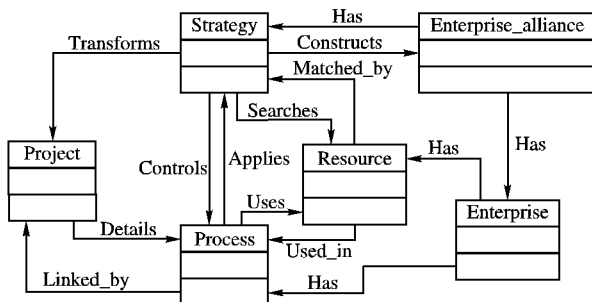


图 1 制造服务本体模型构架

1) Enterprise 类。企业是制造服务的提供者,也是网络服务的协作者。Enterprise 类是制造本体模型的主体,是其中的枢纽部分。企业发布其相关的服务,拥有自己的资源、独立的工艺流程;企业也会是某个制造协会、行业联盟或固定协作伙伴关系中的一员。Enterprise 类在制造服务本体框架中提供了一个完整的方式来详细描述制造服务,并从 Enterprise 类拓展出去,将各个类紧密联系在一起。

2) Process 类。是对某个制造服务过程的详细描述,包括制造能力以及协同制造任务中的需求,以便为协同制造策略促发企业联盟形成,进行制造服务选择时提供参考。例如设计、制造、检查、包装和运输流程等,其中每个部分都是 Process 类的子类(owl:subclassof)。各子类之间也定义了一些相对的关系或定理,如质量检测流程类 Qos_process 是其他子类(Test_process class \cap Customer_acceptance_process class)

的交集(owl:intersectionOf),该类的定义表明产品质量的保证不仅仅需要通过质量检测过程,还必须满足客户对质量的特殊要求。

3) Resource 类。描述制造服务企业所拥有的的资源信息,包括资源的属性、状态和触发方式等。资源可以在整合服务级别中作为一个基本单元,或者在某个企业中占有基础地位。在下节中将会给出详细的定义和说明。

4) Enterprise_alliance 类。描述一个动态网络联盟或者松散的合作联盟。在 Web 环境下,虚拟企业联盟通常是根据电子商务的合作关系,行业内的协作关系或者服务组合优化结果构建,其生命周期一般为整个服务响应周期。联盟内各企业间在协作期间共享资源、信息,协同完成服务项目。Enterprise_alliance 类是个动态的过程类,是高级的组合服务形式,在制造服务过程中以期得到企业间的优化协作组合,获得更好的服务质量,起到资源配置优化的作用。

5) Project 类。在网络制造环境中,每一个服务请求都会映射为一个工程或者一个制造项目,即 Project。工程/项目是企业联盟形成或服务匹配组合操作的触发器。通过 Project 类的支持,所有不规范的服务请求都会转换成项目规划的描述,与企业内部项目描述相匹配,以便任务分解、服务重组的执行。

6) Strategy 类。主要用来支持基于语义描述和数据流的制造服务的发现、匹配、优化、合成等操作。Strategy 类控制着动态企业联盟的构建,通过资源、工艺流程的匹配,以及服务组合算法的优化,将相关企业动态的联系在一起,构建面向服务的虚拟企业联盟,该联盟的全生命周期从服务请求开始到服务完成结束。服务策略与工艺流程以及资源在制造本体模型中是紧密相关、相互影响的。资源需要工艺流程的操作和控制,并在流程中获取相互的联系、组合起来;服务策略通过比较、选择,去组合、控制工艺流程,并通过资源的优化配置更新工艺流程的选择(如图 1 所示)。

该本体模型层级将制造服务的各个环节有机的融合在一起,清晰地描述了其间的动态关系,并为企业协作模式的建立提供了有力的支持。

2.2 制造实体的知识表达

网络化制造本体中所涉及的内容概括为三种抽象类型进行表达,即概念实体、概念属性以及概念间关系,在此基础上根据制造领域特点,通过进一步细化,增加语义信息,并叠加公理定义,形成具有复杂语义关系、支持推理的网状结构。

在本体模型构架的基础上,需要对制造实体的每个部分进行知识表达。因为类属性是用于描述类区别于其他类的特性,制造实体的知识表达即是对上述的各个基础类进一步的完善模型定义和表述的过程。本节以 Resource 类为例,详细给出本体的定义和描述。

2.2.1 定义资源描述

资源是企业服务能力的一个重要组成部分,在许多其他构架体系中都定义为一项基础结构,如 CIMOSA、FDM 和 MISSION 等^[8-10]。本文对资源实体的知识表达强调了企业间的协作方式,突出对资源动态状态变化以及触发机制的表述,改变了侧重静态结构的传统表达方式,如图 2 所示。

定义 1 Resource 类。表示为一个三元组 Resource = {Attribute, Value, f}, 其中, Attribute = {a1, ..., an}, 是资源的属性的集合; Value = {v1, ..., vm}, 是资源的属性值的集合; f: Attr \rightarrow P(Value), 是资源的属性到其值域上的一个映射。

资源的属性可以进一步细分为静态属性和动态属性。

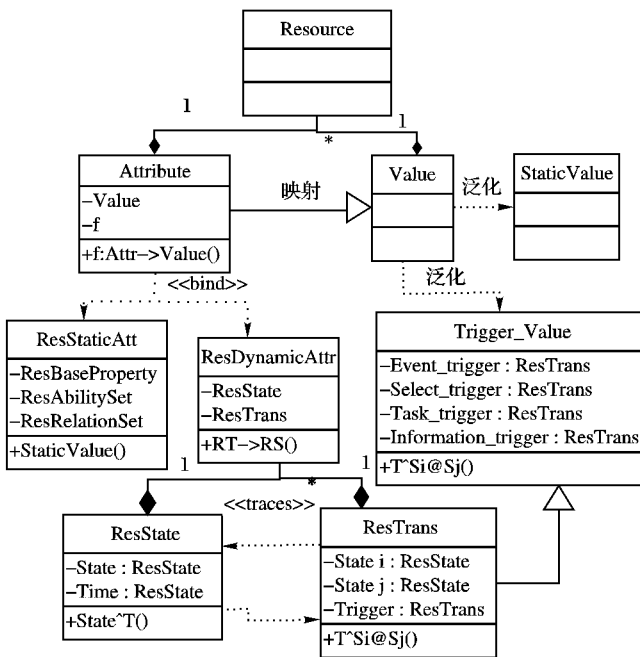


图 2 资源类描述

2.2.2 定义资源状态

1) 静态资源。在资源的整个生命期内,取值保持不变的属性称为该资源的静态属性,可以用一个三元组来表示: ResStaticAtt = { ResBaseProperty, ResAbilitySet, ResRelationSet }。

2) 动态资源。在资源生命期的不同阶段,可能会取不同值的属性称为该资源的动态属性,主要涉及到资源在整个服务过程中的状态和状态的变化情况,用一个二元组表示: ResDynamicAttr = { Res_State, Res_Trans },其中: Res_State 表示对于一种资源 r,在其生命期的一个具体时刻 T,其所有动态属性的取值刻画了 r 在 T 时刻的状态。资源的状态刻画在某种环境下某个时刻,资源动态属性向量的取值,随着条件的改变,资源动态属性的取值也会发生改变,这些变化就导致了资源状态的变迁。

3) Res_Trans。对于资源 r,其状态的变迁可以表示资源 r 状态的属性取值从 Vi 变到 Vj,即 C(Vi, Vj)。资源状态的变迁与服务操作有关,对于初值的选择没有苛刻的要求。我们通过定义下面不同的触发关系,来反映服务操作对资源状态变迁的影响。

定义 2 状态触发机制,其映射值为一个四元组, Trigger = { Event_trigger, Select_trigger, Task_trigger, Information_trigger },分别指四种状态变更的触发方式:事件触发、选择触发、任务触发和信息触发。

1) 事件触发 (Event_trigger, EVT), 变迁 C 的发生依赖于外部的触发的事件 Ev, 则称 C 为事件依赖于 Ev;

2) 选择触发 (Select_trigger, SLT), 如果资源变迁 C1, C2 满足 Select(C1) = Select(C2), 则称 C2 选择依赖于 C1, 选择触发是对称的, 所以 C1 选择依赖于 C2;

3) 任务触发 (Task_trigger, TST), 如果如果资源变迁 C1, C2 满足 PostTast(C1) = PreTast(C2), 则称 C2 任务依赖于 C1, TST 定义了状态变迁发生的必然的前后顺序关系;

4) 信息触发 (Information_trigger, INT), 如果变迁 C 的触发,依赖于其他资源 r 到达某个状态或者进行某个状态变化的信息反馈,则称 C 信息依赖于 r。

本文最后通过扩展 OWL-S,完成上述本体的描述,使其包含网络化制造领域的相关概念、关系、规则,从而构造出制造服务本体。OWL-S 是使用 OWL 语言定义的一种 Web 服务上层本体,在这里就不详细叙述。

3 应用实例

快速制造技术隶属先进制造技术。随着市场需求的提升,快速制造服务自身的发展,多家制造企业联合提供不同专业的、甚至跨领域的专业网络服务成为必然的趋势。“快速制造网络综合服务平台”是将快速成型、快速模具、三维重建、缺损骨重建等有机结合的综合服务平台。在该平台中引入制造服务本体模型,有效地将涉及到的各项服务模块统一定义、描述,实现服务的匹配和组合,从而构建作为企业间优化资源、协同服务的中介平台,对外提供统一的协同服务。目前,制造本体模型的功能已经得到初步的验证,如图 3 所示。虽然具体服务的接口、协议的定义还在进一步完善当中,但服务描述、查询、关系匹配功能已经得以实现。

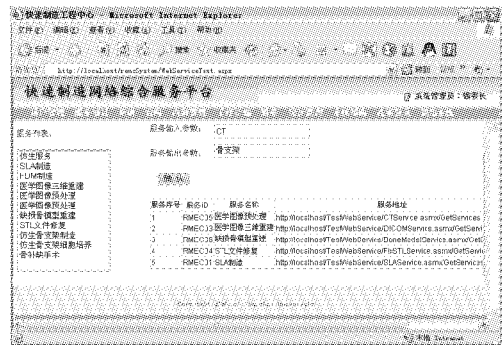


图 3 快速制造网络服务平台界面

4 结语

Web 服务提供的解决异构企业应用的集成方案,迎合了网络化制造协作的技术需求,促进了新的网络化制造模式的产生。而本体论为制造服务提供了一个优良的语义支持,使得制造服务系统可以深层次地理解知识,进而实现主动服务。本文融合上述两种技术对面向网络制造服务的本体模型构建进行了研究,对于有效解决网络化制造过程中服务语义信息表达不足的问题,满足网络化制造环境下的制造服务需求,是非常必要的,也很有价值的。

参考文献:

[1] NECHES R F, FININ R, GRUBER T, et al. Enabling technology for knowledge sharing[J]. AI Magazine, 1991, 12(3): 36 - 56.

[2] DENG ZHI-HONG, TANG SHI-WEI, ZHAGN MING, et al. Overview of ontology[J]. Acta Scientiarum Naturalum Universitatis Pekinensis, 2002, 38(5): 730 - 738.

[3] 高鹏, 林兰芬, 蔡铭, 等. 基于本体映射的产品配置模型自动获取[J]. 计算机集成制造系统-CIMS, 2003, 9(9): 810 - 816.

[4] ALIEN. Enterprise-Ontology[EB/OL]. [2007 - 10 - 09]. http://www-ksl-svc.stanford.edu:5915.

[5] GRUNINGER M, FOX M S. Methodology for the design and evaluation of ontologies[EB/OL]. [2007 - 10 - 31]. http://citeseer.ist.psu.edu/gruninger95methodology.html.

总线上无信息,这时总线处于空闲状态。

通过图 4,可以直观地看到各信息的发送情况:比如 0 时刻节点 6 在发送,发送过程中节点 10、9、8、7、4、3、2、1 均有等待延时;信息 6 发送完毕后,信息 1 接着发送,信息 2、3、4、7、8、9、10 延时等待等。

该方法可以根据实际需要任意时间段和情况进行仿真和统计。并可以获得各个节点的传输情况细节,便于我们做出监控和调整。

图 5 表示某一传输时刻总线的占用率。通过图形可以得到对应时刻总线的占用率。比如时间 400 μs 的时刻,总线占用率为 70%。

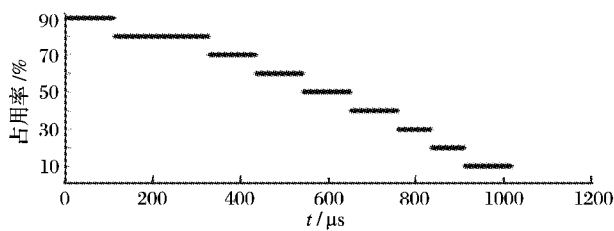


图 5 总线占用率

4.2 统计结果分析

仿真程序记录每条信息延时的具体数据,多次仿真得到统计结果取仿真次数 1000 次为例,统计结果如表 2 所示。

由表 2 可见,总线占用率每增加 10%,最大延时变化大约 100 ~ 200 μs 。总线占用率达到 70% 以上,特别是将满载时,低优先级的信息时延最为严重,达到 1000 μs 。

表 3 加入突发信息的干扰,其余参数与表 2 相同。由表 3 可见,有突发信息干扰时,各信息最大延时比表 2 中有较显著的增加,对应各数据增加 100 μs 左右,得到的最大延时为 1184 μs 。

说明:

①出现的各表中“优先级”一栏,范围为 100 ~ 1000,数值越大,代表优先级越高;反之越小;

②表 2 中出现的延时数据均在 $BR = 1 \text{ Mbps}$ 下得到;

③本文中假设波特率的值稳定,不发生波动;

④本文仿真是以位周期为单位, $(1/BR)$ 即发送一位数据所需的时间。

5 结语

本文结合 UUV 内部网络控制系统结构,对网络内部的延时做了详细分析,对其中不可预测的信息等待时延进行了仿真,受仿真次数和时间限制,延时统计精确度不能达到 100% 精确,但软件仿真方法是切实可行和有重要作用的。我们可以根据实际需要任意时间段进行仿真和统计。观察各条信

息传输的具体情况,分析延时数据。为基于 CAN 体系结构的 UUV 信息传输时延特性分析提供了工具,也为基于 CAN 的网络控制系统稳定性分析和控制系统设计提供了参考依据。注:表中最大、最小延时均针对出现了延时的信息。

表 2 无突发信息时不同总线占用率下信息的延时

总线占用率 / %	冲突信号数	最大延时 / μs	最小延时 / μs	产生最大时延信息的优先级
10	1	64	2	900
20	2	151	14	600
30	3	323	17	200
40	4	453	11	200
50	5	661	4	200
60	6	792	5	100
70	7	854	25	200
80	8	989	86	100
90	9	1106	43	100
100	10	1113	92	100

表 3 有突发信息时不同总线占用率下信息的延时

总线占用率 / %	冲突信号数	最大延时 / μs	最小延时 / μs	产生最大时延信息的优先级
10	1	109	3	100
20	2	322	20	300
30	3	349	8	200
40	4	578	57	200
50	5	729	7	400
60	6	830	38	100
70	7	935	95	100
80	8	1056	121	100
90	9	1180	43	100
100	10	1184	92	100

参考文献:

- [1] SAVKIN A V. Analysis and synthesis of networked control systems: Topological entropy, observability, robustness and optimal control [J]. Automatica, 2006, 42(1): 51 - 62.
- [2] 李原, 马正新, 曹志刚. 基于延时状态统计的分布式 QoS 路由算法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(4): 542 - 545.
- [3] 向卫军. 基于 PC/104 的 CAN 总线冗余方法 [J]. 工业控制计算机, 2008, 21(1): 30 - 31.
- [4] 佟为明, 陈培友, 高洪伟, 等. CAN 总线位定时与同步机制的研究 [J]. 电子器件, 2007, 30(4): 1499 - 1502.
- [5] 吴在军, 胡敏强, 郑建勇, 等. 变电站过程 CAN 总线时延特性分析 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29(11): 34 - 39.
- [6] 徐德民. 自主水下航行器(鱼雷)的发展与关键技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.

(上接第 2127 页)

- [6] LIN H K, HARDING J A, SHAHBAZ M. Manufacturing system engineering ontology for semantic interoperability across extended project teams [J]. International Journal of Production Research, 2004, 42(24): 5099 - 5118.
- [7] CAI MING, LIN LAN - FEN, DONG JIN - XIANG. Research and development of manufacturing resource intelligent retrieval system [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(4): 542 - 548.
- [8] KOSANKE K, VERNADAT F, ZELM M. CIMOSA: Enterprise engineering and integration [J]. Computers in Industry, 1999, 40

(2/3): 83 - 97.

- [9] HARDING J A, YU B. Information-centred enterprise design supported by a factory data model and data warehousing [J]. Computers in Industry, 1999, 40(1): 23 - 36.
- [10] HARDING J A, POPPLEWELL K, COOK D. A manufacturing system engineering moderator: An aid for multi-discipline project teams [J]. International Journal of Production Research, 2003, 41(24): 1973 - 1986.
- [11] 吴健, 吴朝晖, 李莹, 等. 基于本体论和词汇语义相似度的 Web 服务发现 [J]. 计算机学报, 2005, 4(4): 595 - 602.