

# 云制造资源服务化封装与服务发现研究<sup>\*</sup>

孟 飙<sup>1</sup>, 吴兴杰<sup>2</sup>, 陈俊辉<sup>3</sup>

(1. 沈阳航空航天大学航空制造工艺数字化国防重点学科实验室, 沈阳 110136;

2. 金航数码科技有限责任公司, 北京 100028;

3. 北京青云航空仪表有限公司, 北京 100086)

**[摘要]** 为屏蔽制造资源的复杂性和异构性, 实现异地、异构的制造资源整合与共享, 向用户提供统一资源服务调用接口, 分析云制造资源池业务流程和云制造资源组织模式, 并提出以模块化的方式描述资源管理信息。在此基础上, 构建制造资源的本体语义模型, 使用 OWL (Contology Web Language for Services), 进行形式化描述; 使用描述模版库和资源—服务映射器, 实现资源服务化封装操作的简单化、自动化和规范化; 使用 OWL-S 对制造云服务进行形式化描述, 提供简便的服务注册、发布操作。采用基于语义相似度的服务搜索和匹配方法, 并将云制造服务语义细分为功能语义、服务质量语义、数据语义和执行语义, 使服务匹配快速、准确。

**关键词:** 云制造; 制造资源; 服务; 封装; 本体; 服务匹配

## Research on Resource Service Encapsulation and Service Discovery in Cloud Manufacturing

MENG Biao<sup>1</sup>, WU Xingjie<sup>2</sup>, CHEN Junhui<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Aeronautical Digital Manufacturing Processes, Fundamental Science for National Defense, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China;

2. AVIC Information Technology Co., Ltd., Beijing 100028, China;

3. AVIC Beijing Keeven Aviation Instrument Co., Ltd., Beijing 100028, China)

**[ABSTRACT]** To shield the heterogeneity and complexity of manufacturing resources, and to achieve integration and sharing of distributed, heterogeneous manufacturing resources, the operation flow of cloud manufacturing resource pool and the organization mode of cloud manufacturing resource are analyzed. Manufacturing resources service encapsulation is studied in order to present a uniform interface of resource service access to users. And described resource management information in a modular way is proposed. On this basis, Builds an ontology semantic model of manufacturing resource and express in formal manner using OWL. Encapsulation template library and resource-service mapper is used to simplify and standardize the encapsulation process. The formalize description of Manufacturing Cloud Service is realized with OWL-S in order to register and publish services. Method of services matching and searching based on semantic similarity is employed. And cloud manufacturing service semantic is subdivided into functional semantics, data semantic, quality of service semantic and executable semantic to achieve prompt and accurate services matching.

**Keywords:** Cloud manufacturing; Manufacturing resource; Service; Encapsulation; Ontology; Services matching

**DOI:**10.16080/j.issn1671-833x.2016.04.89

制造业从产品生产型向生产加工服务型转变要求我们必须利用现有的制造资源和技术能力把中国制造业向技术和专利研发拓展自主品牌和服务延伸。云制造<sup>[1-3]</sup>便是在这种新的需求和前沿信息技术的驱动下, 借鉴敏捷化制造、网络化制造等已有先进制造模式的成

果, 并汲取了 IPS2、协作网络、C-Sourcing 等当前国外制造业的最新发展思想而产生的一种制造新模式<sup>[4]</sup>。

云制造资源服务化封装与服务发现技术是云制造研究与应用的关键技术。云制造资源服务化封装主要研究如何将制造资源进行建模并封装成服务, 然后发布到云制造平台上供用户使用。而面对复杂繁多的制造

\* 基金项目: 总装备部“十二五”预研计划项目。

服务,如何快速的根据用户需求进行资源服务的匹配是服务发现技术的研究重点之一。本文在对云制造资源服务的运作模式进行分析的基础上,对制造资源和制造能力进行本体建模并应用 OWL 本体语言进行形式化描述。研究了资源服务化封装流程,并且应用 OWL-S 对资源服务进行形式化表达。采用基于语义相似度的服务搜索和匹配方法实现制造云服务的快速、准确发现。

## 1 云制造资源服务作业分析

### 1.1 云制造资源池作业分析

云制造资源池(简称制造云)是一个聚集了各类异地、异构的制造资源和制造能力的制造云服务平台。云制造资源池中的制造资源和制造能力需要经过虚拟化、服务化的封装,然后在制造云平台上注册并且发布,以提供给服务使用者查询和使用。

制造资源服务化封装与服务发现技术是构建云制造资源池的核心技术。分析云制造资源池的作业流程的目的是明确制造资源服务化封装与服务发现技术的实现目标以及在实现过程中涉及到的输入、输出等信息。云制造资源池作业简图如图 1 所示,简化的云制造资源池作业流程为:云制造服务的使用者将制造任务发布到云制造用户应用平台;云制造资源池管理模块负责对用户的任务请求进行解析,并在制造资源云池中进行资源服务的搜索和匹配;最后调用由相应的制造节点提供的制造服务完成制造任务。如果任务相对复杂则需要借助知识库系统对任务进行分解,然后通过服务动态组合完成任务。

### 1.2 云制造资源组织模式分析

在云制造生态圈中,制造资源节点构成一个开放的、分布式的结构。这里所指的制造资源节点并不仅限于某一台机床或其他设备,而是指可以完成某项制造业务的制造资源或制造能力的功能单元。根据其映射的制造服务的复杂程度不同,每个制造资源节点的组织规

模并没有限制。

每个制造资源节点在其组织结构内具有完整的资源管理和业务处理能力,既可以在现有的企业资源系统中独立运作,也可以加入到云制造资源池中与其他节点协作完成某一制造任务。制造资源云池中的各类制造资源可以动态组织以应对阶段性的高强度订单需求。云制造资源池管理包括制造资源监控与调度、制造资源发布、制造资源搜索与匹配、虚拟制造资源实例化与部署以及制造资源系统管理。

通过对云制造系统的作业流程进行分析,可知云制造资源的服务化封装与服务发现涉及到的环节是:制造节点下的制造资源和制造能力通过虚拟化、服务化封装,然后注册并发布到云制造资源池中供用户使用;对制造任务进行分解,同时搜索和匹配服务。所以云制造资源服务化封装与服务发现的研究重点包括:(1)制造资源/能力分类与描述建模;(2)资源服务化封装机制;(3)制造服务的分类与语义描述;(4)制造资源服务搜索与匹配机制。

## 2 制造资源本体建模与形式化描述

### 2.1 制造资源分类与本体建模

云制造环境下资源种类繁多,数量庞大,需要在网络环境中实现异构的制造资源共享,并在服务提供过程中相互协作。为了实现制造资源和制造能力的虚拟化、服务化,有必要对纷繁复杂的云制造资源进行分类和描述,为最终实现不同类型资源的虚拟化接入、服务化封装提供信息支持。

云制造模式下的企业资源分为制造资源和制造能力。制造资源是指物理存在且具有静态传输介质的资源形式,如加工设备、仿真软件、模型知识、数据文档等客观存在的物理资源。制造能力指制造企业在制造活动中结合制造资源要素所表现出来的一种能力,如企业的设计能力、仿真实验能力、生产能力等无形资产<sup>[5]</sup>。制造资源领域本体概念建模如图 2 所示。

云制造环境下的制造资源具有多样性、分布性、异构性、动态性、抽象性和相似性的特点<sup>[6]</sup>。这些特征造成了在云制造资源分类和描述过程中难以保证信息一致性、资源动态性、数据集成性。另一方面,实现云制造服务的搜索和匹配的前提是对云制造服务的功能、性能等属性相关的概念及其内部关系进行精确的、一致的语义描述。而在云制造环境下一个相似的概念往往因为客户需求和应用背景的多样性而具有多种含义。这种语义上的二义性不利于云服务的精准描述,妨碍了制造云服务的云端发现,给云制造资源服务的整合与协同造成了困难。本体具有良好的概念层次结构和对逻辑推

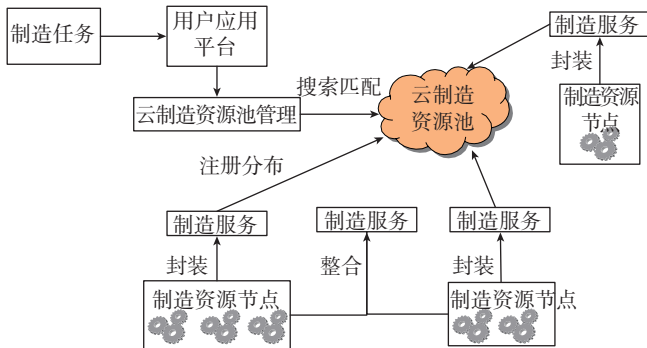


图 1 云制造资源池作业简图

Fig.1 Running mode of cloud manufacturing resource pool

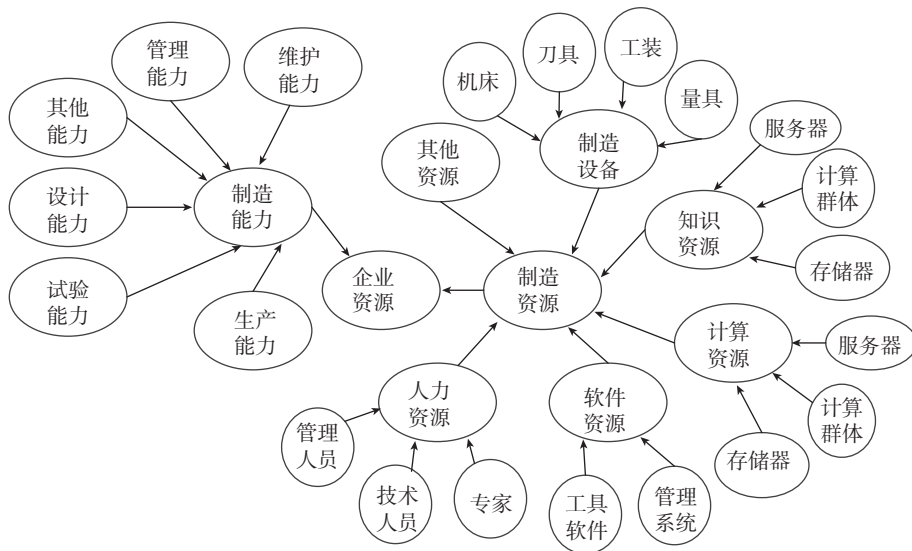


图2 制造资源领域本体概念建模  
Fig.2 Manufacturing resource domain ontology modeling

理的支持,用于描述某个领域内的概念及概念之间的关系,使得这些概念和关系在共享范围甚至更广范围内具有共同认可的、明确的、唯一的定义<sup>[7]</sup>。本文采用本体理论对与制造资源及服务所涉及的概念及其关系进行描述。

### 2.2 模块化资源管理信息模型

云制造模式下,面向订单对制造资源进行快速高效的集成重组,并且在制造资源组合时寻求满足一定约束条件(时间、质量、成本)的制造资源显得尤为迫切和必要。将原材料尽可能高效地转换为与生产组织目标相一致的产品,其过程是由一系列工业制造活动组成的。在制造业务的逻辑层面上,工业活动是在一系列资源支持和任务目标地驱动下,使一个或一组对象的状态发生改变的过程。云制造环境下的工业过程及其相关的活动涉及到海量数据的交换,主要包括在计划、调度、控制与检测过程中的管理型数据的交换。这些数据用于在离散的工业过程内部以及内外部合作者之间根据时间来动态描述流程的每个组成元素。

云制造环境下工业活动或制造过程是在云制造资源的支持下正常运行的。由于客户的需求和应用背景不同,云制造资源信息化描述应该具有模块化的特点,以便资源动态重组。因此,本文提出将用于完成某项制造任务或组成某一制造能力的物料、设备、人员、数据等信息以模块化的方式定制成工作胞。对象是产品制造活动过程中的某一项构型,由具体的资源构成。对象在一系列的资源支持下状态发生改变。状态包含了对象自身属性或其所处环境的信息,由于状态与时间的关联特性,状态属于动态管理数据,是制造管理数据中比

较关键的部分<sup>[8]</sup>,主要在云制造资源管理中用于检测和控制流程。基于资源支持的工业活动模型如图3所示。

在模块化的制造资源组织模式中,1个机床可以被看作是1个资源,有时却需要将机床与员工一起看作1个资源,有时需要将具有特定功能的生产组织看成1个资源(即工作胞),该组织往往包含了一定数量的设备、人员等,这样的生产组织资源极大地简化了生产能力评估或生产计划调度等工作的复杂性。典型工作胞资源结构如图4所示。

工作胞是以模块化的方式将特定的生产资源组织成1个单元。

工作胞在将物理资源进行模块化的同时,还将与该项制造活动相关的人力资源、专家知识、计算能力、实验能力等制造资源/能力集成并形成具有特定功能的生产组织。通过这些制造资源/能力的信息以模块化的方式进行描述,实现对工作胞的加工能力的服务化封装。资源模块化的抽象表达为,资源={资源层次、资源视图、资源状态、资源特性、资源配置}。本文引入 MANDATE 标准<sup>[9]</sup>用于制造活动/过程的资源管理和信息表达。在云制造环境下,通过 MANDATE 标准规范和表达,工作胞将成为制造活动中的基本生产资源对象,基于生产任务或生产流程进行管理,进一步整合并封装成服务。

### 2.3 制造资源形式化描述

OWL 提供了1种机器可读的用于在网络化环境中发布和共享实体的语义语言。OWL 可以用于描述网络

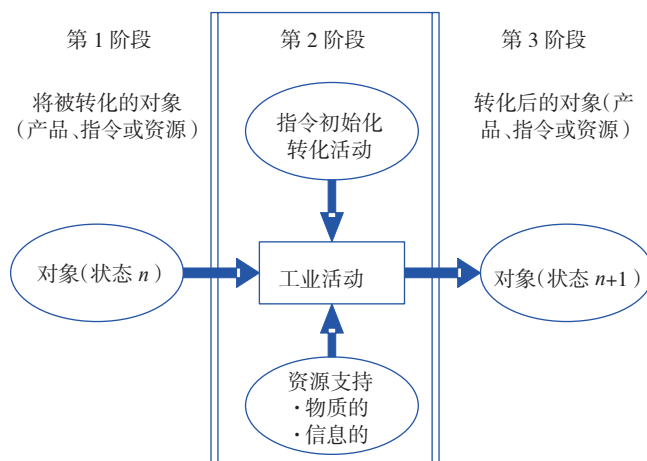


图3 基于资源支持的工业活动模型  
Fig.3 Industrial activity model based on resource support

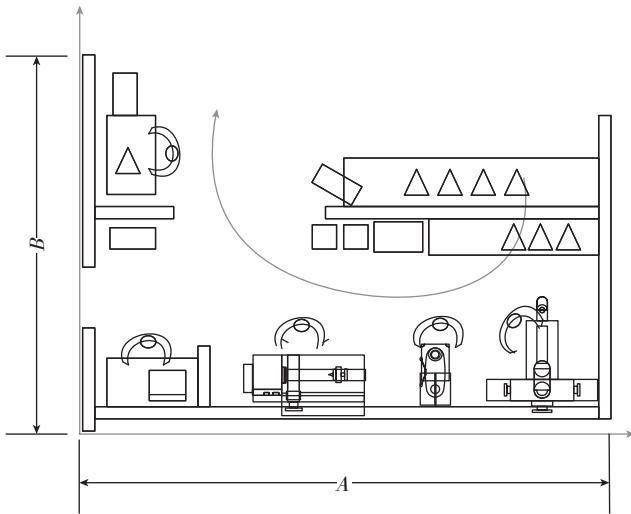


图4 典型工作胞资源结构

Fig.4 Typical structure of work cell resource

中各种实体的属性及其关系,它提供了1个可以用简单概念构造复杂概念的逻辑模型并且支持简单推理。OWL适用于云制造环境下资源和服务的语义描述,能够屏蔽资源的异构性,便于资源发现和检索,可以很好地支持基于知识的资源服务发现与评价。

制造资源本体定义语言的形式化描述为:

$MR = \langle ResID, BaseInfo, Function, ResUsage, Application \rangle$ 。

ResID是资源标识(Resource ID),每个资源都有1个唯一的标识ID;Base Info用于描述云制造资源的基本信息,用于表示资源的名称、类型、供应商等信息,其形式化描述为  $Base Info = \langle ResName, ResType, \dots, ResSupplier \rangle$ ; Function是资源的功能属性,主要表示制造资源在不同条件下的功能描述,其形式化  $Function = \langle ResCon, \dots, FuncDescrip \rangle$ ; ResUsage资源使用属性,描述资源的使用说明、使用质量评价等,其形式化表示  $ResUsage = \langle Using, UsingMethod, \dots, Qos \rangle$ ; Application表示资源的应用状态,  $Application = \langle Run$

state, ..., Interface>,主要描述资源的运行状态属性和调用接口。

使用 Ontolingua、OilEd、Protégé 等工具可以方便对制造资源进行 OWL 语言本体领域建模;使用本体建模工具可以方便建立或编辑制造资源本体树状层次图,同时可以生成1个包含了所有本体信息的源代码文件,计算机程序就是通过它来访问构建的本体,从而使建立的制造资源本体知识带上了语义信息<sup>[10]</sup>。

### 3 制造资源服务化封装流程

为实现异地、异构的制造资源共享,提供协同工作环境,需要将制造资源封装为 Web 服务资源,屏蔽制造资源自身的异构性和复杂性,对外呈现统一调用接口<sup>[11]</sup>。制造资源服务化封装应该具有以下特点:

(1) 服务化封装操作首先应该具有简单化、自动化、规范化的特点。

(2) 封装标准具有普适性和开放性,允许异地异构的软、硬件资源以统一的规范接入并发布到云端。

(3) 支持资源按需使用,根据云制造任务的需求动态的构建服务。

(4) 在隐藏资源内部组织的运行细节的同时,提供对资源功能性能属性的良好表述。

(5) 支持高效、敏捷的对资源规模进行可伸缩性的调整和服务的动态迁移,因而实现云制造系统的容错性。

制造资源的服务化封装流程如图5所示。制造资源的服务化封装模型包括资源描述模版库、资源—服务映射管理、接口管理3个模块。模板库为资源形式化描述提供描述模板,使资源服务封装操作简单、规范。云制造资源服务化封装模型。

### 4 制造云服务发现技术

#### 4.1 制造云服务的语义描述

基于语义的制造云服务发现技术的实现,需要解决

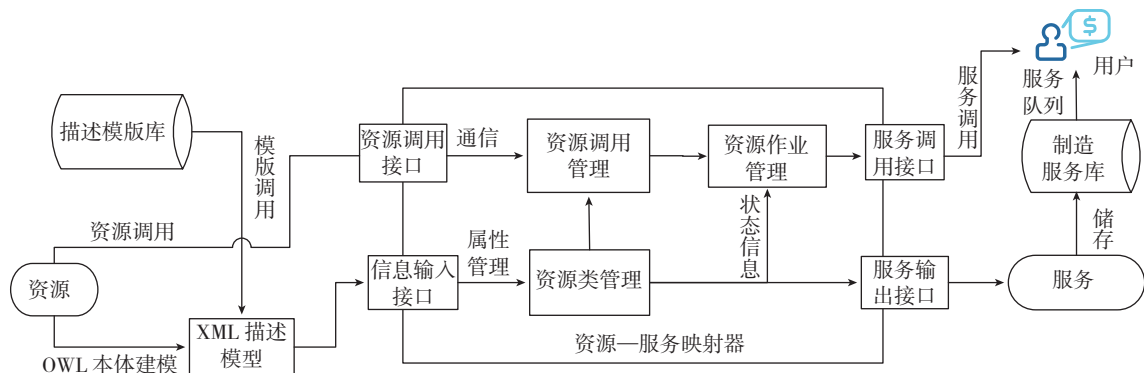


图5 制造资源的服务化封装流程

Fig.5 Process of manufacturing resources service encapsulation

的关键问题包括:制造资源服务本体建模、制造资源服务的语义描述、服务搜索与匹配等。对服务进行语义描述的目标是使服务可以被计算机理解、用户理解,可以进行机器学习并构建知识库。云制造背景下的服务匹配具有复杂性、海量性,因而需要高效的匹配算法来提高响应度<sup>[12]</sup>。

制造资源服务化封装实现了将产品设计制造过程中动态、异构的制造资源和制造能力进行集成,并封装成服务,也可以将现有的服务和资源封装成新的服务。根据用户需求,为用户提供方便、快速的服务获取,需要对服务进行语义化描述和管理,以便进行服务注册、匹配、组合、调用等语义操作。

云制造领域服务形式化描述需要满足:Web信息可被计算机理解并处理,属性描述可扩展,支持全面、动态、准确的建模信息描述。OWL-S能够完整地描述服务,并支持服务的自动发现和调用。本文使用OWL-S对云制造服务进行形式化描述。

OWL-S包括3个组件:

服务配置文件(Service Profile):用来描述服务名称、服务功能、服务质量评价等基本信息,由服务搜寻代理确定服务是否满足服务请求者的需求。

服务模型(Service Model):向服务请求者说明应该如何请求和使用服务。

服务基础(Service Grounding):描述信息与服务交互的底层通信的相关细节,如采用的协议、端口等,即怎样访问服务。

制造云服务(Manufacturing Cloud Service, MCS)的形式化描述为:  $MCS = (SID, SInfo, S-RM, SI/F)$ 。其中SID(Service ID)表示资源标识,每个制造云服务都有1个唯一标识;SInfo(Service Information)表示服务的基本信息,其形式化描述为  $SInfo = (Name, Description,$

Provider);S-RM(Service-Resource Mapping)表示服务与资源的映射信息,其形式化描述为  $S-RM = (ResGroup, ResState, Relation)$ ;SI/F(Service Interface)表示制造云服务的接口信息,其形式化描述为  $SI/F = (Protocols, Format, SAddress)$ 。

#### 4.2 云制造资源服务搜索与匹配

作为一种基于海量网络服务的制造新模式,如何在众多的制造服务中选取满足用户需要的服务,实现主动匹配成为影响云制造成败的关键因素之一<sup>[13]</sup>。在云制造应用中用户对制造资源和服务的请求往往基于多个属性和模糊检索<sup>[14]</sup>。本文提出采用基于语义相似度的搜索与匹配方法,相似度是指一对文字概念间的相似程度,相似度达到用户或系统设定的某个阈值时,就认为这对概念相似。

在对资源服务进行形式化描述后,进一步将云制造服务语义细分为功能语义、数据语义、服务质量语义和执行语义4种类型<sup>[12]</sup>。其中功能语义描述了资源服务的功能属性,通过OWL-S本体语言描述了资源服务的最基本信息;数据语义是指服务的输入/输出参数集合的语义表达;服务质量语义是服务的众多质量性能的语义表达,分别是时间(Time)、成本(Cost)、可靠性(Reliability)、信任(Trust)、可维护性(Maintainability)、满意度(Satisfaction)<sup>[15]</sup>的集合;执行语义描述了与服务执行相关的语义信息,包括服务调用、任务流程、输入/输出等语义信息。根据云制造服务语义的分类相应地将资源服务匹配分为功能信息匹配、服务质量匹配、数据信息匹配、执行信息匹配。

制造云服务匹配流程如图6所示,其匹配流程包括以下步骤:

步骤1,系统根据领域本体库中的本体建模信息将用户制造任务请求转化为标准描述的资源服务请求,并

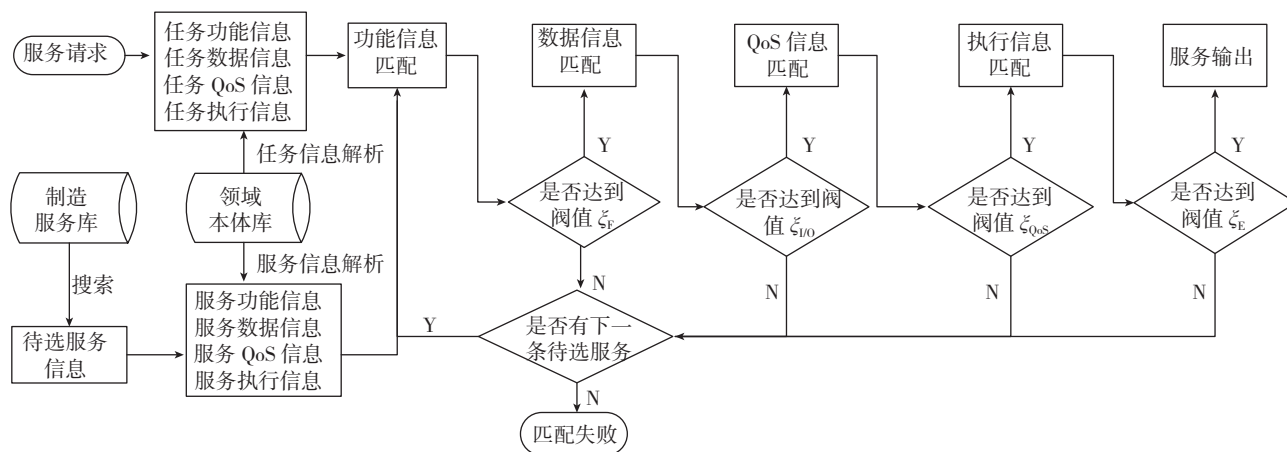


图6 制造云服务匹配流程

Fig.6 Process of manufacturing cloud service matching

将制造任务请求解析为任务功能信息、服务质量信息、数据信息、执行信息。

步骤 2,系统从制造服务库中根据关键词、关键词检索算法等方式搜索到相应的待选服务信息,并将待选服务信息解析为服务功能信息、QoS 信息、数据信息、执行信息。

步骤 3,系统的资源服务匹配功能模块调用相应的匹配算法对任务请求与相应待选服务的功能信息、数据信息、服务质量信息、执行信息逐条进行匹配。

步骤 4,如果匹配的相似度达到预定阈值则进入下一步匹配,直到匹配成功并输出服务,或者匹配的相似度低于阈值则返回进行下一条待选服务的匹配,如果没有下一条待选服务则返回匹配失败的结果。

## 5 结束语

本文在对云制造资源池的作业流程及云制造资源组织模式进行分析的基础上,根据制造云服务的应用背景,阐明了云制造资源服务化封装的关键技术和发现技术的研究重点。对云制造资源进行分类和本体建模,并应用 OWL 语言对制造资源进行形式化描述,为最终实现不同类型资源的虚拟化接入、服务化封装提供支持。基于 MANDATE 标准提出了以工作胞为生产组织资源的模块化制造资源组织模式,以应对云制造环境下资源信息管理的复杂性和动态性。阐述了制造资源的服务化封装流程,并应用 OWL-S 语言对制造云服务进行形式化描述。采用基于语义相似度的制造云服务匹配方法,实现制造云服务快速发现。基于机器学习的任务分解和服务动态组合是下一步的研究重点。

### 参考文献

[1] 李伯虎,张霖,王时龙,等.云制造一面向服务的网络化制造新模式[J].计算机集成制造系统,2010,16(1):1-7,16.

LI Bohu, ZHANG Lin, WANG Shilong, et al. Cloud manufacturing: a new service-oriented networked manufacturing model[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010,16(1):1-7, 16.

[2] TAO Fei, CHENG Ye, ZHANG Lin, et al. Cloud manufacturing[J]. Advanced Materials Research, 2011, 201-203:672-676.

[3] LUO Yongliang, ZHANG Lin, HE Dongjing, et al. Study on multi-view model for cloud manufacturing[J]. Advanced Materials Research, 2011, 201-203: 685-688.

[4] JANG J, JEONG B, KULVATUNYOU B, et al. Discovering and integrating distributed manufacturing services with semantic manufacturing capability profiles[J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2008,21(6), 631-646.

[5] 张霖,罗永亮,陶飞,等.制造云构建关键技术研究[J].计算机集成制造系统,2010,16(11): 2510-2520.

ZHANG Lin, LUO Yongliang, TAO Fei, et al. Key technologies for the

construction of manufacturing cloud[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010,16(11):2510-2520.

[6] 黄艳丽,张平,宋宁,等.制造网格资源的描述方法研究[J].机电工程技术,2009,38(3):62-64,94.

HUANG Yanli, ZHANG Ping, SONG Ning, et al. The research of the description method of the Grid-Enabled manufacturing resources[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2009,38(3):62-64,94.

[7] 苏嘉梅.云制造环境下制造云服务发现研究[D].重庆:重庆大学,2012.

SU Jiamei. Research on manufacturing cloud service discovery in cloud manufacturing[D]. Chongqing: Chongqing University, 2012.

[8] 孟飙,朱亮.企业生产流程中制造域标准的应用研究[J].现代制造工程.2011(8):30-34.

MENG Biao, ZHU Liang. Domain standard application in enterprise manufacturing process data exchange[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2011(8):30-34.

[9] CUTTING-DECELLE A F, YOUNG R I M, MICHEL J J, et al. ISO 15531 MANDATE: a product-process-resource based approach for managing modularity in production management[J]. Concurrent Engineering-Research and Applications, 2007, 15(2): 217-235.

[10] 刘刊.云制造资源语义发现关键技术研究[D].太原:太原科技大学,2013.

LIU Kan. Research on key technologies for semantic discovery of cloud manufacturing resource[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science and Technology, 2013.

[11] 武蕾,孟祥旭,刘士军.制造网格中资源服务化封装方法研究[J].计算机集成制造系统,2008,14(9): 1837-1844.

WU Lei, MENG Xiangxu, LIU Shijun. Resource service encapsulation in manufacturing grid[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008,14(9):1837-1844.

[12] 张金广,李锋刚,张磊.云制造背景下的服务匹配算法[J].计算机技术与发展,2013,23(3):41-44.

ZHANG Jinguang, LI Fenggang, ZHANG Lei. Services matching algorithm under cloud manufacturing background [J]. Computer Technology and Development, 2013, 23(3): 41-44.

[13] 杨男,李东波,童一飞.云制造环境下基于动态描述逻辑的制造服务匹配研究[J].中国机械工程,2013,24(16): 2202-2207.

YANG Nan, LI Dongbo, TONG Yifei. Manufacturing services matching based on dynamic description logic in cloud manufacturing environment [J]. China Mechanical Engineering, 2013,24(16) :2202-2207.

[14] 刘士军,曲本科,武蕾,等.自组织云制造资源聚集框架与多维属性区间搜索方法研究[J].计算机辅助设计与图形学学报,2012,24(3):299-307.

LIU Shijun, QU Benke, WU Lei, et al. Self-organizing resource integration framework and multi-dimensional range search of cloud manufacturing [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2012,24(3):299-307.

[15] 赵童童.Web服务组合中服务的选择和服务质量的研究[D].山东:山东师范大学,2012.

ZHAO Tongtong. Research on the selection of the web services and QoS in the web services composition[D]. Shandong : Shandong Normal University, 2012.

(责编 台京)