

# 云制造网络平台中机床设备建模方法研究

胡剑,唐敦兵

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

**摘要:**以机床设备为对象,针对云制造网络平台的设备资源在虚拟化接入和服务化封装的过程中,存在的设备资源属性信息庞杂、平台接入困难等问题进行研究。基于本体建模的思想,使用 Protégé 构建机床装备资源本体模型,得到 OWL 本体知识文档;使用 XML editor 构建本体 XML 描述模板,通过该模板对机床设备进行实例化,建立机床设备资源数据库,在云制造网络服务管理平台中对机床设备形式化描述模型进行检验和应用。

**关键词:**云制造环境;机床;建模方法;虚拟化;服务化;本体建模

**中图分类号:**TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)02-0089-04

## Research on Modeling of Machine Tool Equipment Based on Cloud Manufacturing Network Platform

HU Jian, TANG Dunbing

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** With machine tool equipment as the investigation object, research is conducted on the problems of maultifarious information of equipment resource properties and difficulty in platform access in the process of virtualized access and service-based packaging of equipment resources on the cloud manufacturing network platform. Based on the idea of ontology modeling, Protégé is applied to construct the machine tool equipment resource ontology model, obtaining OWL ontology knowledge document. XML editor is used to construct ontology XML description template, by which machine tool equipment is instantiated, machine tool equipment resource database is established, and the effectiveness of the machine tool equipment formal description model in the cloud manufacturing network service management platform is verified.

**Keywords:** cloud manufacturing environment; machine tool; modeling method; virtualization; servicing; ontology modeling

## 0 引言

云制造网络平台是属于服务型的网络平台,平台对生产制造过程中所涉及的加工设备进行虚拟化,并在云制造网络服务管理平台中进行服务化,实现资源统一集中管理和分散组合使用,按照用户的需求进行加工任务与设备资源的匹配,为用户提供个性化的网络化制造服务,为解决制造设备资源闲置和制造设备资源缺乏而产生的矛盾提供了有效的方法和清晰的途径。

高端装备机床的价格非常昂贵,小微企业难以承受设备的购置成本;对于复杂的加工制造任务订单,小微企业也无法独立自主地完成,这些都是小微企业在发展壮大过程中所要面临的关键问题。在云制造的运行模式下,机床设备资源的所有方将处于空置状态的设备资源上传至云制造网络服务管理平台,形成虚拟的设备资源云池;机床设备的需求方在云制造网络服务平台中能够快速、精准地查找并使用虚拟资源云池中的各类服务资源。云制造平台将用户的生产加工任务发送给生产加工设备资源和服务资源的供应方,服务资源提供方按照需求方个性化的需求调用真实物理机床设备资源进行生产制造,从而搭建了

平台运营方、设备提供方和设备需求方之间的交互关系。

在云制造平台中,在制造加工任务与设备资源实现匹配之前,通过对物理设备资源进行虚拟化,形成虚拟设备资源集合。姚锡凡等<sup>[1]</sup>针对云制造虚拟化问题,提出了虚拟化过程中需要遵守的基本原则,并通过对加工制造设备的特征进行分析,设计出了针对加工制造设备的虚拟化模板,最后对已完成虚拟化的加工制造设备实现了服务化封装,并在云制造网络平台上实现注册与发布。XU X<sup>[2]</sup>针对加工制造设备在云制造平台中的统一描述性问题进行了探究,详细分析了加工制造设备的各项特征,首次提出制造设备资源的域本体,并设计出了加工设备模型框架。AGEYEV D等<sup>[3]</sup>对网络通信中涉及的虚拟化技术进行了研究和划分,为资源在软件层面的虚拟化提供了方法和指导性意见。LU Y Q等<sup>[4]</sup>构建了资源虚拟化的实现框架,设计出了针对资源虚拟化的详细流程,并使用 Protégé 和 OWL 语言对资源进行虚拟化模型构建和实例化,对资源虚拟化框架的有效性和商业化应用价值进行了验证。

本文通过对制造设备资源的特点和属性进行分析,利用动态、静态的各项制造设备资源信息和性能指标,构建全面的、客观的、明确的物理设备资源数据模型,建立物理制造设备资源和虚拟化之后的制造设备资源之间的映射

关系,最后通过对机床设备的服务化完成设备资源在云平台中的资源共享。

及资源数据信息的网络发布与传输。

### 1 资源虚拟化和服务化封装

## 2 基于六元组的形式化描述模型

#### 1.1 机床设备多维属性信息分析

基于六元组构建的机床设备形式化本体描述模型包含设备的基本信息、状态信息、参数、加工性能、技术性能和评价信息,机床设备的六元组形式化模型的具体描述为

机床设备信息由各种属性信息基本单元组成,通过对各个机床设备属性进行分析,能够有效区分各个机床装备资源的基本特征、目前的使用状态和性能差别。本文从机床设备的基本信息、设备状态信息、设备参数信息、加工性能信息、技术性能信息和性能评价信息对机床设备的属性组成和类别进行解析。具体属性构成如图 1 所示。

Device Resource = { BasicInfo, StateInfo, Equipment Paras, Process Perform, Tech Perform, Perform Evaluation }。

根据上文对机床装备资源属性信息的分析与描述,各个属性信息描述模型的具体描述如下。



图 1 机床设备资源多维属性信息构成

1) Basic Info = { Name, ID, Type, Model, Contact, Location, Instruction }, 分别对应设备名称、设备编号、设备种类、设备具体型号、联系方式、设备位置和说明文档。BasicInfo 可以用于描述机床设备资源的静态属性信息,其中的 Name 和 ID 是对机床设备资源的简单标识;Type 表示机床设备的类别,包括钻床、车床等;Model 表示机床设备的具体型号;Contact 和 Instruction 提供了获取机床装备资源详细信息的其他途径。

#### 1.2 虚拟化建模和服务化封装

2) State Info = { Servicing, Reserve, Fault, AllLoad, HalfLoad, Free }, 分别对应维护、已预订、故障、满载、未满载和空闲。Servicing 表示当前机床设备资源处于维护状态,正在对机床设备资源进行维修和保养;Reserve 表示当前机床设备资源已经被分配和占用,不能再被分配和占有;Fault 表示当前机床设备资源处于故障状态,不可被分配和使用;AllLoad 表示当前机床设备拥有的制造加工能力都已被使用,当前机床设备已无法被重新匹配和使用;HalfLoad 表示机床设备的部分加工制造能力已被使用,不能提供所有的加工制造服务;Free 表示该机床设备正处于闲置状态,该机床设备所拥有的所有加工制造服务均可以被需求用户所占有。

为了实现机床设备的虚拟化,通过上述对于机床设备多维属性的分析,完成了机床装备资源建模的准备工作,之后对机床设备进行虚拟化建模和服务化封装,其具体的流程如图 2 所示。

3) Equipment Paras = { Size, Weight, Maxload, Spindle Speed, Rate Power, ... }, 分别对应机床装备资源的尺寸、质量、最大载荷、主轴转速、最大功率等。EquipmentParas 用于对云制造环境下机床装备资源在硬件层面上的物理信息进行描述,通过这些设备参数信息可以对机床装备资源的结构特征以及设备运行环境能够有更加清晰的认识。

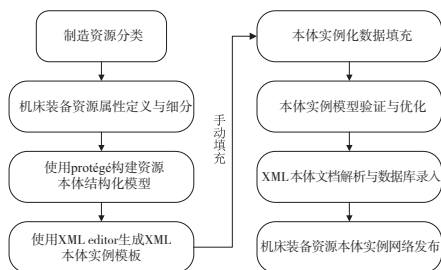


图 2 机床设备资源虚拟化建模流程

4) Process Perform = { Machin Accuracy, Roughness, Position Accuracy, Trans Accuracy, Proactable Material, ... }, 分别对应机床装备资源的加工精度、表面粗糙度、定位精度、传动精度、可加工材料等。Process Perform 用于对机床设备资源的加工性能进行描述,借助这些信息,能够比较清晰地了解到该机床设备资源在加工制造方面的性能水平,为后续在云制造网络服务平台中制造加工任务与机床设备资源的精准匹配提供参考和基础。

1) 对产品生产加工制造过程中所涉及的设备资源种类进行汇总和梳理,明确机床设备资源所属类别。

2) 对机床设备的多维属性信息进行归类和分析,构建了六元组的机床设备属性组成模型,包括机床设备的基本属性、状态属性、参数、加工性能、技术性能和性能评价,并对机床设备的属性实现细分以及数据类型的定义。

3) 基于对机床设备各种属性的定义,使用 Protégé 构建机床的本体层级模型,得到本体 OWL 描述模板,之后使用 XML editor 构建对应本体的 XML 描述模板。

4) 对上述得到的机床设备 XML 描述模板进行数据填充,生成设备的实例化文档,对实例化文档进行解析,录入 MySQL 表中,完成对机床设备属性数据的数据库存储,以

5) Tech Perform = { Operate System, Operation Mode, Communication Mode, ... }, 分别对应机床装备资源的操作系统、操作模式、通信方式等。Tech Perform 用于对云制造环境下机床装备资源在软件层面上的物理信息进行描述,通过这些信息,可以清晰地了解到机床装备资源在软件层面上的性能水平。

6) Perform Evaluation = { Quality, Punctuality, Cost, ... }, 分别对应机床加工质量、生产准时率、制造费用等。

Perform Evaluation 用于云制造环境下制造服务的需求方对机床装备资源提供方所提供的制造服务进行综合评价,云制造网络服务管理平台最终会根据性能评价结果对数据库制造资源集中的机床设备进行排序和选择。

在机床装备资源分层描述的基础之上,采用 Protégé 构建的机床设备资源类的层次结构如图 3 所示。采用 Protégé 构建机床设备的本体结构化模型,如图 4 所示。用 Protégé 将机床装备资源的本体结构化模型导出为 OWL 文本格式进行输出,如图 5 所示。

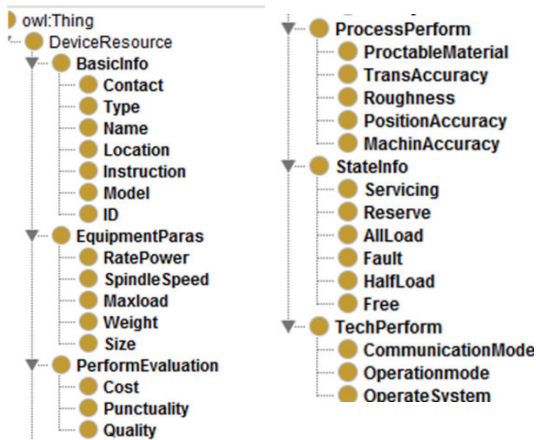


图 3 机床设备资源类的层次结构

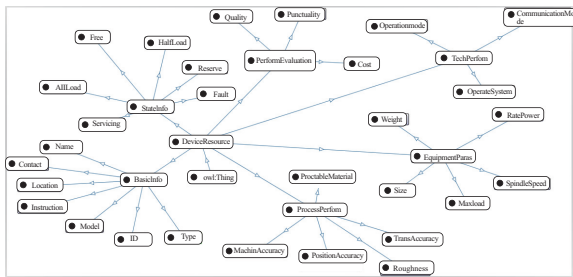


图 4 机床设备资源的本体结构化模型

```

<rdf:Description>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#AllDisjointClasses"/>
<owl:members rdf:parseType="Collection">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
</owl:members>
</rdf:Description>
<rdf:Description>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#AllDisjointClasses"/>
<owl:members rdf:parseType="Collection">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
</owl:members>
</rdf:Description>
<rdf:Description>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#AllDisjointClasses"/>
<owl:members rdf:parseType="Collection">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
</owl:members>
</rdf:Description>
<rdf:Description>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#AllDisjointClasses"/>
<owl:members rdf:parseType="Collection">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
<rdf:Description rdf:about="http://www.semanticweb.org/surface/ontology#">
</owl:members>
</rdf:Description>

```

图 5 机床设备资源描述模型的 OWL 文本格式

为了方便对机床装备资源的本体描述结构模型和本体描述 OWL 文档进行解析和读取,增强本体知识文档数据的可应用范围,采用了能够被计算机软件系统广泛识别并解析的可扩展性标记语言 XML,利用 XML editor 将机床装备资源本体 OWL 文档转换为 XML 格式进行输出,并对其进行实例化,完成对机床设备的实例化封装,实例化如图 6 所示。

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<DeviceResource xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceLocation="file:/C:/User/surface/Desktop/2">
<BasicInfo>
<Name>五轴数控机床</Name>
<ID>P1000</ID>
<Type>车床</Type>
<Manufacturer>FANUC</Manufacturer>
<Location>南京</Location>
<Contact>18851871355</Contact>
<Instruction>http://www.baidu.com</Instruction>
</BasicInfo>
<EquipmentParas>
<Size>900*100*100cm</Size>
<Weight>280kg</Weight>
<Maxload>208kg</Maxload>
<SpindleSpeed>2800r/s</SpindleSpeed>
<RatePower>28kw</RatePower>
</EquipmentParas>
<ProcessPerform>
<MachinAccuracy>7级</MachinAccuracy>
<PositionAccuracy>1mm</PositionAccuracy>
<RePositionAccuracy>0.01mm</RePositionAccuracy>
<TransAccuracy>3级</TransAccuracy>
<ProMaterial>铝合金/钛合金</ProMaterial>
</ProcessPerform>
<TechnicalPerform>
<OperateSystem>FANUC</OperateSystem>
<Operationmode>手动+自动</Operationmode>
<CommunicationMode>Ethernet\RS-232\profinet</CommunicationMode>
</TechnicalPerform>

```

图 6 机床设备资源实例化 XML 文本格式

### 3 资源形式化描述模型应用

对机床设备资源的 XML 实例化封装文档进行解析,并录入关系型数据库 MySQL,实现机床装备资源的持久化存储。首先在 MySQL 中建立机床装备资源表 resource,表头内容主要包含资源的 ID 编号、用户 ID 编号、设备名称、设备类别、设备厂商、通信方式、机床设备状态、机床加工表面粗糙度、可加工长度范围、加工精度范围、可加工宽度范围、可加工高度范围、可加工材料种类、加工服务准时性、加工服务质量、加工服务成本等属性,详细定义如表 1 所示。

然后通过对 XML 实例化文档的解析完成对 MySQL 中 resource 表的数据填充。最后本文使用 SpringBoot 框架和 Mybatis 框架,搭建了针对机床设备资源的云制造服务平台原型系统<sup>[5]</sup>,实现了机床设备的网络化和服务化,详细的服务化流程如图 7 所示。平台的资源管理模块负责对机床装备资源进行统一管理,包括对机床装备资源进行增加、删除、修改和查找,实现了从机床设备本体建模到云制造网络服务管理平台模型应用的完整流程。机床设备资源的供应方在云制造网络服务管理平台中使用资源管理模块注册和上传机床设备资源,系统将上传的机床设备资源和服务存入关系型数据库,实现机床设备资源的持久化存储。在云制造网络服务管理平台中机床设备资源的注册与发布界面如图 8 所示。

表1 机床设备数据库属性定义表

字段名	数据类型	可否为空	描述	备注
id	int	否	资源的唯一标识	主键,自增
supplier	int	否	用户编号	外键
device_type	varchar(40)	否	设备类型	无
manufacturer	varchar(40)	是	生产厂家	无
communi_mode	varchar(40)	是	通讯方式	无
state	varchar(40)	否	设备状态	无
proprecision	int	否	加工精度	无
promms	double	否	表面粗糙度	无
prolength	double	否	可加工长度	无
prowidth	double	否	可加工宽度	无
proheight	double	否	可加工高度	无
promaterial	varchar(40)	否	可加工材料	无
rs_quality	double	否	服务准时性	无
rs_quality	double	否	服务质量	无
rs_cost	double	否	服务成本	无
state	int	否	资源状态	布尔值

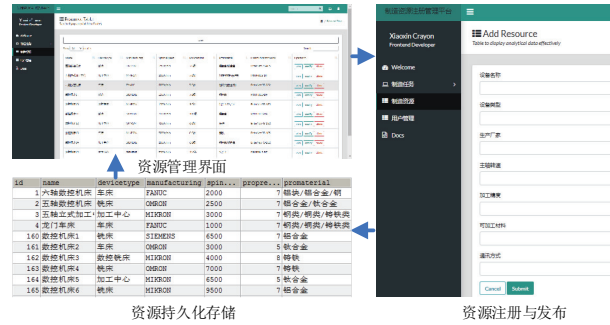


图8 机床设备资源注册与发布流程

## 4 结语

本文提出并建立了一种基于六元组的机床设备资源形式化描述模型。通过对机床设备多维属性信息进行分析,构建了全面的、客观的物理机床装备资源数据模型,实现了物理制造资源和虚拟化之后的制造资源之间的映射,有利于后续制造任务需求与机床加工设备的精确匹配。机床设备的虚拟化和服务化是云制造技术在制造领域推广和应用所要应对的核心问题之一,构建机床设备本体模型有利于云制造技术的发展。最后使用关系型数据库MySQL对构建的机床装备资源形式化描述模型进行应用,通过使用构建的XML描述模板对机床设备完成实例化,实现机床设备资源的持久化存储,为云制造网络服务管理平台提供了虚拟化制造资源云池,并通过搭建针对机床设备的云制造网络服务平台,在平台中实现了对机床设备的服务化和统一管理,最终验证了本文构建的机床设备资源形式化描述模型的准确性和有效性。

### 参考文献:

- [1] 姚锡凡,金鸿,徐川,等. 云制造资源的虚拟化与服务化[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2013,41(3):1-7.
- [2] XU X. From cloud computing to cloud manufacturing[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,2012,28(1):75-86.
- [3] AGEYEV D, BONDARENKO O, RADIVILOVA T, et al. Classification of existing virtualization methods used in telecommunication networks [C]//2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies. Kyiv, Ukraine: IEEE,2018:83-86.
- [4] LU Y Q, XU X. Resource virtualization: a core technology for developing cyber-physical production systems [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2018,47:128-140.
- [5] 陈莉娟,王安,陈一帆. 智慧医疗下智能售药设备的云服务平台设计[J]. 机械制造与自动化,2021,50(4):128-131.

收稿日期:2021-11-12

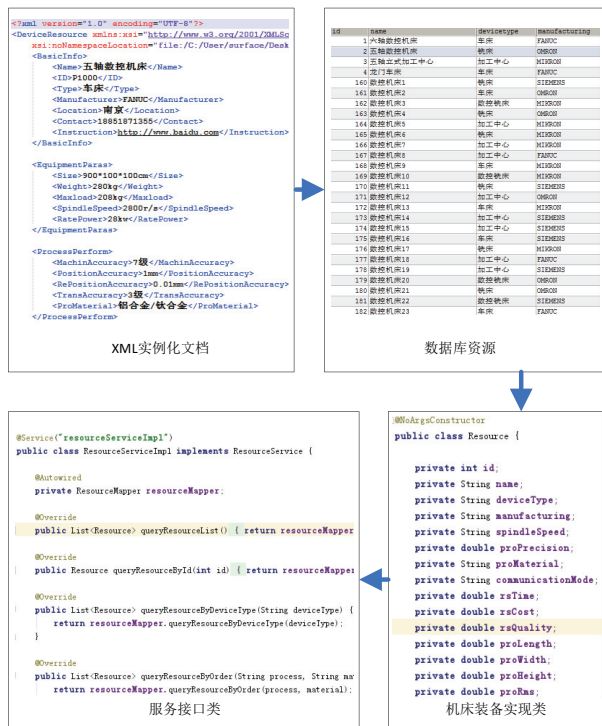


图7 机床设备资源服务化流程