

基于知识的云制造资源服务管理

胡安瑞^{1,2}, 张霖^{1,2}, 陶飞^{1,2}, 罗永亮^{1,2}

(1. 北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191;

2. 北京航空航天大学 复杂产品先进制造系统教育部工程研究中心, 北京 100191)

摘要: 分析了云制造资源服务的特点以及知识在资源服务全生命周期中发挥的作用,在此基础上提出了基于知识进行资源服务管理的机制,设计了一套适合云制造资源服务管理的知识库管理系统构建方法,结合该构建方法对资源服务管理流程进行了分析,最后开发了相应的原型系统进行了验证。

关键词: 云制造; 资源服务; 知识; 服务管理

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Resource Service Management of Cloud Manufacturing Based on Knowledge

HU Anrui^{1,2}, ZHANG Lin^{1,2}, TAO Fei^{1,2}, LUO Yongliang^{1,2}

(1. School of Automation Science & Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China; 2. Engineering Research Center of Complex Product Advanced Manufacturing Systems of the Ministry of Education, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: In order to realize the unified optimal resource service management (RSM) in cloud manufacturing (CMfg), the resource services characteristics were studied as well as the role of knowledge in the whole resource services life cycle. A RSM mechanism based on knowledge was put forward. A knowledge base system construction method was designed for the RSM in CMfg. The RSM process was analyzed. Finally, a prototype system was developed to validate the proposed method.

Key words: cloud manufacturing; resource service; knowledge; service management

云制造将云端接入的各类资源及能力封装成云服务,以服务的方式提供给用户。将云服务按照一定规则聚合形成制造云,建立资源服务管理中心,对制造云里的资源服务进行合理的管理,管理中心根据用户需求以合适的方式为用户提供制造全生命周期应用^[2-3]。现有的服务管理技术本身存在很多不足,如:服务描述语言大都处于语法级,存在语义异构问题;对于复杂问题的求解缺乏相应的推理能力;对于制造活动中的隐性知识缺乏发现和利用等^[4-6]。云制造的制造全生命周期中多个过程也无法用现有的服务管理技术解决,如复杂制造任务的供需建模非常复杂,没有人工智能技术的支持将无法实现;仅靠流程管理方式进行任务分解远不能满足需求;由于云制造资源服务数量庞大,单纯添加语义的方法无法保证匹配到最佳服务,等等。从20世纪60年代以来知识工程^[7]得到了极大的发展,其智能性应用于诸多模糊、非精确及专家系统等人工智能领域取得良好的应用效果。云制造中的各类资源虚拟化接入与封装、云服务描述及制造云构建、云服务搜索、匹配与组合、高效智能云服务的调度与优化配置、容错管理与任务迁移、云制造企业业务流程管理等都需要相应的专家知识提供技术支持。本文从服务与知识管理的角度出发,研究了云制造资源服务管理对知识的需求,设计了一套基于知识的云制造资源服务管理系统框架,以实现云制造资源服务的高效管理。

1 云制造资源服务管理

1.1 资源服务及特点

文中云制造模式下的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的资

作为一种新的制造模式,云制造^[1]正在受到越来越多的关注。云制造的重要目的之一是实现制造资源与制造能力的共享与按需使用,提高资源利用

收稿日期: 2012-03-03

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2011AA040501);教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20101102110009)

第一作者: 胡安瑞(1983—),男,博士生,主要研究方向为知识工程、云制造等。E-mail: thiefkeeper@163.com

通讯作者: 张霖(1966—),男,教授,博士生导师,工学博士,主要研究方向为制造集成系统、云制造、复杂系统建模仿真、软件工程等。E-mail: johnlin9999@163.com

源形式. 制造资源又分为硬资源和软资源. 硬资源指产品全生命周期中的制造设备、计算设备、物料等; 软资源指软件、数据和知识等. 制造能力是完成某一目标需要的无形动态的主观条件, 如设计能力、仿真能力、管理能力等^[8]. 借助虚拟化和物联网技术将云端制造资源和制造能力进行统一描述, 进而进行服务化封装, 形成云服务, 又称之为云制造资源服务. 云制造资源服务的主要特点包括:

(1) 多样性. 云制造是一种涉及多领域、跨学科的先进制造模式. 突出地表现在复杂产品的设计、仿真、生产、加工等方面. 此时, 单一的某一个或者某一类资源服务无法满足用户需求, 往往需要多个领域的多类制造资源协同合作. 与此同时, 由于形态、功能、实现方式等的不同, 同一领域内的资源服务也千差万别, 各不相同. 这些服务不但包括了硬件设备、计算资源、软件、人力等的制造资源服务, 还包括了设计能力、仿真能力、生产能力、管理能力等的制造能力服务. 所以, 云制造资源服务具有多样性特点.

(2) 海量服务. 云制造资源服务的多样性决定了其资源服务的数量非常巨大. 众多的服务提供者不但提供了多领域的多种服务, 还可能提供多个同类型或同样功能的服务. 对于海量服务的高效管理是云制造平台必须解决的问题.

(3) 分布性. 云制造中的资源服务的实际部署呈现分布性. 部分资源部署以映像部署的方式部署在平台虚拟机上. 很大一部分资源特别是硬资源、服务提供者自建服务器的软资源和制造能力资源可能存放于世界的任何位置. 资源提供者可能把硬资源存放于任何一个厂房、机房、仓库中. 软资源部署在全世界任何一台计算机或者存储设备中, 一个服务也可能是部署在多个计算机上多个程序协同实现. 具备某种制造能力的人或企业也可以是在任何地方. 云制造资源管理中心通过网络与这些分布的资源进行通信.

(4) 动态性. 云制造平台下管理的海量资源服务的状态随时都在变化中. 有的服务可能临时不能调用, 如部署服务器故障等; 有的服务可能调用方式发生了改变, 如更换了服务器地址等; 有的服务可能进行了更新, 如更换了更先进的机床等硬件设备等; 一些新的服务随时可能加入平台, 如具备某种能力的人的加入, 旧的服务永久退出平台等. 云制造平台需要对这些资源服务进行监控, 不断更新其状态, 才能在合适的时间把合适的服务提供给用户.

综上所述, 在复杂的制造云中选取合适的资源

服务来完成任务单靠传统的服务管理技术无法满足用户需求, 必须有相应的各领域专家进行协同配合来实现资源服务的智能优化选取和调用. 从人工智能的角度出发, 制造全过程实现对知识有着巨大的依赖性. 所以, 云制造也是一种基于知识的制造. 云制造体系需要相应的知识管理系统, 资源服务管理中心必须在其支持下进行资源的合理调用.

1.2 基于知识的资源服务管理需求分析

云制造资源服务的全生命周期如图1所示.

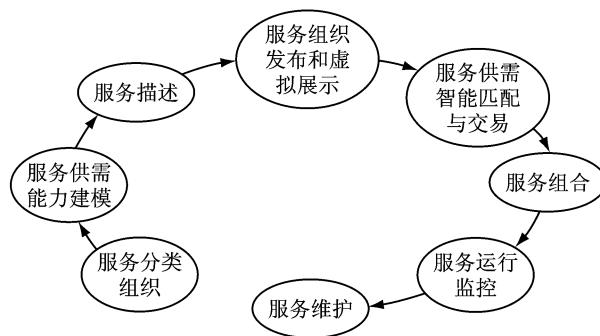


图1 云制造资源服务全生命周期示意

Fig.1 Whole life cycle of resource service in cloud manufacturing

云制造资源服务全生命周期过程包括: 服务分类组织、服务供需能力建模、服务描述、服务组织发布和虚拟展示、服务供需智能匹配与交易、服务组合、服务运行监控、服务维护. 用户的需求往往包含多项功能和性能要求, 其实现过程涉及多个学科. 依靠单一的资源服务难以完成, 需要多学科资源服务的协同工作^[9]. 对于同一个任务不同学科领域的解决视角、问题关注点、专业规范以及解决思路都不同, 每个过程需要多领域专家的协同参与才能实现, 更准确地说是需要这些领域专家的知识来解决服务全生命周期中的问题. 云制造中资源服务管理的策略是将专家知识表示成计算机可以识别的形式并建立专门的知识库存储, 由云制造平台直接使用这些知识解决服务全生命周期中每个阶段遇到的问题. 这样将大幅提高云制造平台服务的效率. 资源服务的特点决定了构建知识库的知识有多种类型, 服务全生命周期各个阶段用到的知识也不尽相同.

服务分类组织的优势在于可以根据需求迅速匹配到合适的服务, 极大提高平台工作效率. 云制造平台需要一个合理的服务分类框架, 该框架建立在服务描述及多种分类策略的基础上. 服务描述性知识是对资源服务的实现功能、涉及领域、适用条件、QoS 等的描述. 分类策略是指该框架还具有几套合

理的分类方法. 这些分类方法是在充分分析各个领域的专业知识、结合任务的实际需求后确立的科学的分类方法. 同一个服务在不同的分类方法下可能属于不同的类别. 系统任务提出后, 平台对具体任务进行属性抽取来确定任务完成策略, 根据该策略在某种合理的服务分类方法指导下选取合适的服务完成任务需求. 服务描述是一种描述该服务的知识, 这些知识详细描述了该服务的各种属性, 包括服务的名字、涉及领域、部署方式、使用方式等. 分类方法是一种描述如何对服务进行分类的任务知识, 包括适用于该分类方法的情景、分类的依据、分类的具体步骤等.

服务供需能力建模是将用户任务需求进行分析并与服务库中的服务进行对比, 由实际任务确立服务的具体描述形式, 即由一定的规则建立供需能力模型. 建立准确、合理的模型对任务的完成起重要作用. 该过程需要对实际任务进行大量的分析论证, 借助数据挖掘等技术获取对应的隐性知识, 再利用领域专家知识实现服务供需能力建模.

服务描述是云制造实现智能化服务管理的基本环节. 服务描述过程将云制造服务库中的每一条服务描述成计算机可以识别的形式使得计算机在相应的策略下自主完成服务的管理. 该过程的实现作用于云制造服务全生命周期的每一步. 合理的服务描述形式极大提高云制造服务平台的效率和解决问题的能力. 该过程与服务的分类和供需能力建模过程相互影响. 为确保系统运行的高效性和准确性, 需要对云制造的应用场景和资源服务进行全面分析, 建立合理的描述方法, 如类型相同或相似的服务应有完全一致的描述方式, 类型差别较大的服务则根据具体情况使用不同描述方式. 服务描述方法直接影响服务描述知识建立.

服务组织发布和虚拟展示过程指服务提供者发布和展示其服务的过程. 服务提供者向平台提供其服务的功能等属性, 系统自动建立该服务的描述文件进行存储, 形成该服务的初步描述知识. 平台在运行过程中搜集有关该服务的信息并完善其描述, 逐步形成完整的服务描述知识.

服务供需智能匹配与交易是在知识的支持下依据用户需求对服务进行筛选、调用与交易的过程. 系统平台在语义基础上依据知识做出判断, 挑选一系列合适的服务形成任务的解决方案. 用户可根据自身特点定制适合自己的特殊需求, 系统依据任务目的、服务描述和用户要求 3 方面提供相应的服务.

服务组合将挑选的服务按照一定规则进行组合最终完成制定的任务. 该过程中服务的组合策略需要知识作为支撑. 系统需要根据领域知识和服务描述知识等判断所选的服务是否可以组合, 并剔除不合适组合的服务, 然后根据任务知识设定合适的组合方案, 并对方案进行评估, 实现服务组合的优化.

服务运行监控包含 2 层含义: 一是指在任务提出后到最终解决该任务的过程中系统对每一步都进行监控, 记录产生的数据; 二是指在服务运行过程中发生意外问题后系统采取一系列措施确保任务顺利完成. 监视的数据最重要的包括具体方案实施效果、单个服务效果、服务组合效果及用户评价等. 系统对这些数据进行分析推理, 形成对应的案例, 对该案例进行描述就形成了案例知识. 另外系统将单个服务有联系的推理结果添加到服务描述文件中, 以完善服务的描述知识. 当再次遇到类似任务时系统根据案例知识提出更好的解决方案. 该过程是机器学习过程也是知识自动获取过程. 而在意外情况发生后, 系统对具体情况进行推理得到具体的解决方案并实施, 在实施过程中同样进行监控, 对实施方案进行评估并修改相应的推理知识. 在运行监控过程中领域知识、推理知识、案例知识和服务描述知识都发挥重要作用.

服务维护是在任务完成后分析服务全生命周期中产生的各项数据、完善服务的描述信息的过程. 这些数据包括单个服务的运行状况、服务组合的整体效果、任务完成后的评价等. 云制造平台将相应的分析结果写入服务的描述信息, 这是一种自动获取知识的方式. 当云制造服务开始新的全生命周期时平台可以更准确高效地匹配和调用相应的服务.

由服务全生命周期的每一步的分析可以看出, 云制造是一种基于知识的制造模式. 有些步骤必须有知识作为支撑才能实现, 有些步骤在添加了知识后会极大提高其效率和解决问题的能力. 依据 CommoKCADS^[10-11] 分类法和云制造实际需求可将这些知识分为领域知识、推理知识、任务知识、案例知识和服务描述知识等. 领域知识是某个领域内的知识对象和涉及的静态信息的描述, 主要包括该领域内的应用知识和概念描述. 领域知识是其他知识存在的基础, 其他知识都是依托于特定的领域知识而发挥具体作用. 推理知识是应用静态知识完成具体任务推理的知识. 主要包括推理步骤方法以及领域知识在其中所起到的作用. 任务知识用于描述任务目标并提供解决任务的策略. 一般依据任务知识

源服务本体库.需要对每一类知识进行分析确定其具体的存储方案.相对其他类型知识,领域知识内容较稳定,较容易进行结构化.在多领域学科中,有些推理知识和任务知识通用性较强,容易分类并形式化成相应统一的描述模版.而有些推理知识和任务知识应用领域较少、规范特殊、不易分类,将其进行形式化过于繁琐且应用较少.案例知识主要描述了完成用户某个任务的具体情况,其主要的元素集中在用到的服务和具体每一步的评估,是一种容易形式化的知识.资源服务描述知识主要是对资源服务的属性进行描述,绝大多数资源服务都可在云制造平台中找到相应的描述方法,也是一种易形式化的知识.

根据以上情况,知识以文件存储与关系数据库并存的方式进行存储.对于知识库中全部知识都采用文件存储方式存储,如常见的 owl 本体描述文档.但在知识查询匹配等过程中,如果每次都需要对文件进行解析则效率太低,所以对于领域知识、容易形式化的推理知识和任务知识、案例知识和资源服务描述知识将采用数据库方式进行存储,如 Oracle, SQL Server 数据库等,以提高工作效率.

2.4 逻辑推理层

逻辑推理层包含语义推理引擎和智能推理算法库 2 个模块.

(1) 语义推理引擎.推理就是依据一定的原则从已有的事实推出结论的过程.知识推理是指在计算机或智能机器中利用形式化的知识进行机器思维和求解问题的过程.跨领域多学科问题求解中知识推理的全面性和正确性受到语义异构问题的制约.语义推理引擎通过对知识表示添加语义支持实现语义层次的知识推理,实现云制造的资源服务的合理调配.

(2) 智能推理算法库.知识推理过程中,有些推理是精确推理的,推理条件和结果都是精确的,这类推理形式较为单一且实现比较简单.而更多的是非精确推理,其条件或结果都存在不确定性.在这类知识推理中,精确性的推理已经无法满足要求,这就要求引入智能推理算法.智能推理算法即引入人工智能、模糊逻辑等技术模拟人的思维,对知识进行合理的推理,得到比较满意的答案.常见的智能推理算法包括确定性推理算法^[19]、模糊聚类推理算法^[20]以及粗糙集推理算法^[21]等.将这些算法封装成对应的算法类库,供语义推理引擎调用,为其提供非精确推理的算法支持.

2.5 应用接口层

应用接口层包括知识开发、知识应用和知识管理 3 个接口模块.

(1) 知识开发接口.知识开发接口主要功能包括知识获取、知识编辑、知识浏览和知识集成等.构建知识库必须有知识,知识获取是必不可少的功能.知识获取依据其获取方式可以分为人工获取、半自动获取和自动获取 3 种.由于自动获取更多的是理论研究,目前实践过程中很难实现.结合云制造平台自身特点,获取方式主要为人工获取和半自动获取,辅以部分知识自动获取.人工获取是指知识工程师与相关领域专家进行沟通,将专家知识以人工方式形式化成计算机能够识别的知识.该方法效率比较低,一般用于领域知识构建和特殊性较强、难以分类提供形式化模版的知识.半自动获取是指知识工程师对知识进行分类并形成相应的知识获取模版,领域专家通过其开发的专业程序对话直接将其知识转化成计算机能够识别的知识并存入数据库,这是目前最可行且应用最广的知识获取方式.该方法适用于领域内容易分类并形式化的知识获取,但对于特殊性较强的知识则无能为力.云制造平台中运用的知识涉及多个领域,种类繁多且千差万别,所以需要人工获取和半自动获取 2 种方式同时进行.另外案例知识的获取是系统自动收集任务完成过程中的各种数据自动形成,所以案例知识构建以知识自动获取方式实现.获取后的知识不是一成不变的,系统需要提供对知识编辑功能,包括基本的增、删、改、查等操作.云制造知识库中的知识拟以本体方式进行存储.对知识编辑即为对本体的编辑.该模块提供本体编辑工具实现知识编辑;知识浏览即对知识库中的知识进行浏览,该模块通过本体解析工具对知识表示本体文档解析并发布到对应页面供用户、专家或管理员查看;知识集成指将分散的、片面的但有一定关联度的知识通过集成的方式合成连贯的能够解决某一具体问题的知识的过程.该模块主要对云制造中分散的知识片进行集成,形成可用的、具体的知识并进行存储和调用.

(2) 知识管理接口.知识管理接口主要功能包括存储管理、安全管理等.存储管理指对获取的知识进行存储的统一管理.云制造知识库的存储首先将知识进行分类建立相应的本体库,再根据知识的不同以文件存储和数据库存储 2 种方式进行存储;安全管理模块主要对知识库中用户的角色进行分类和管理.根据云制造系统平台的用户可以按照其所处

的角色特点进行相应的角色分配,如知识工程师可以进行相应领域的知识提交、维护等操作,具体用户可以根据需求查看或直接调用所需要的服务以完成相应任务等。

(3) 知识应用接口. 知识应用接口主要功能包括知识查询、知识访问、语义应用与语义推理等. 该模块主要在语义的支持下提供对所需知识的查询并调用查询到的知识解决具体问题. 这里涉及了知识访问方式、语义匹配及推理等多种关键技术. 应用接口层通过对外提供上述功能对应的调用接口方式实现具体任务的知识支持. 在整个过程中云制造服务平台通过调用这些接口实现知识对资源服务的管理。

3 基于知识的云制造资源服务管理流程分析

依据云制造系统工作流程可以把资源服务管理流程分为资源服务的部署和发布流程与使用流程。

3.1 资源服务部署和发布流程

资源服务的部署和发布是服务提供者将其服务部署到通过互联网可以远程调用的状态,并将其服务的属性(如所属领域、功能、接口、调用方法、QoS及资费标准等)通过系统提供的服务发布界面向资源服务中心注册,然后生成相应的本体描述文档存入资源服务本体库中,其具体流程如图 3。

资源服务构建部署包括制造资源部署和制造能力部署. 制造资源部署又分为软资源部署和硬资源

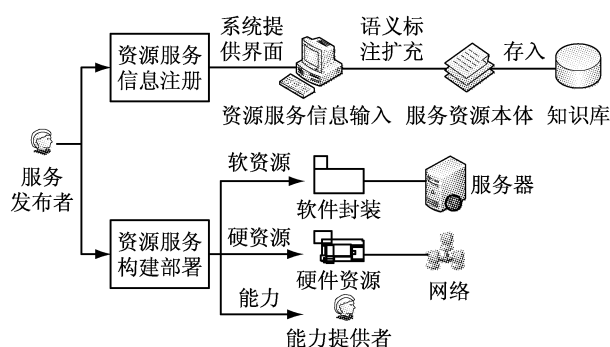


图 3 资源服务部署发布示意

Fig.3 Resource service deploy and release

部署. 对于软资源,服务发布者将相应的程序封装成服务,然后将封装后的服务部署到网络服务器上,用户即可对网络服务器上的服务进行调用. 对于硬资源,服务提供者需要将相应的硬件控制接口、数据监控接口等接口通过总线技术连接到网络,用户通过网络即可实现对硬资源的状态监测或在一定条件下的远程使用. 制造能力的部署需要将对应制造能力的描述信息以特定的方式注册到平台上,平台可以与其进行通讯,实现能力的调用。

资源服务发布过程中,服务提供者通过系统提供的发布界面,选择所处领域并通过填表的方式对服务的属性进行录入. 资源服务信息录入后,系统首先对描述信息进行语义标注,然后在领域知识的支撑下进行语义扩充,形成服务资源本体并将其存入知识库,以便云制造系统平台调用。

3.2 资源服务使用流程

资源服务使用流程包括资源服务的匹配、调用、评估及案例存储等过程. 其具体流程如图 4 所示。

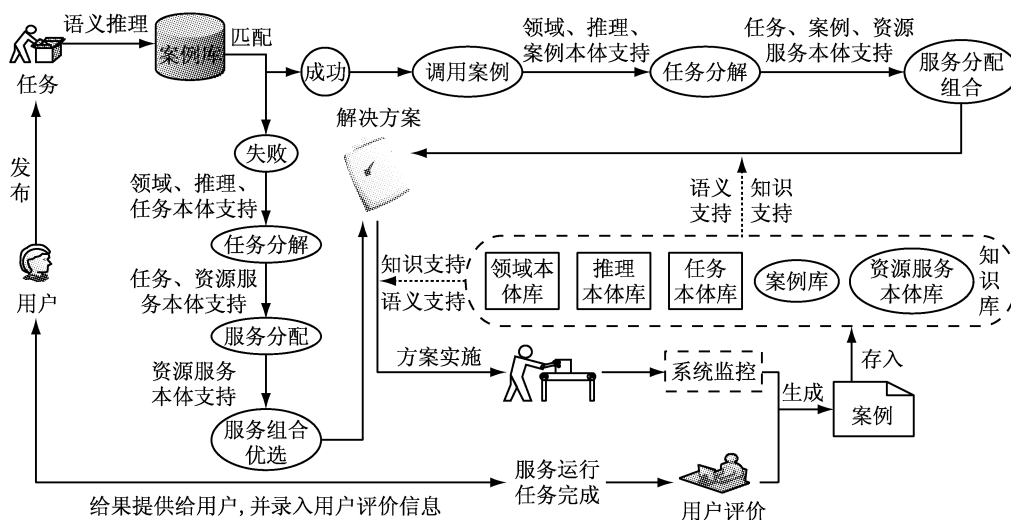


图 4 资源服务使用流程示意

Fig.4 The process of using resource services

用户向平台发布任务,系统通过语义推理对任务进行分析,进入案例库进行案例匹配。在语义的支持下对以往案例进行匹配。如果匹配成功,则直接调用所有匹配的案例。案例库中匹配出的案例一般都是解决当时问题较好的方案,但这并不能代表一定是最好的方案。而且不同用户不同时期提出的任务要求不会完全相同,匹配出的案例不可能每个环节都是最佳配置,所以对匹配的案例进行重新分割、对个别环节进行服务替换以实现资源服务的优化配置非常重要。所以在领域本体、推理本体及案例本体的支持下对任务进行分割分解,形成可以由单个资源服务解决的子任务。在任务本体、案例本体及资源服务本体的协同支持下分配解决每个子任务的资源服务,然后进行服务组合形成总任务解决方案。

如果案例匹配失败,系统在领域本体、推理本体和任务本体的支持下对任务进行分解,将任务分解成单个资源服务可以完成的子任务。在任务本体和资源服务本体支持下通过语义匹配技术对资源服务进行匹配进而实现服务分配。解析资源服务本体中对应服务的属性的描述参数,通过服务组合算法实现服务组合优化,最后形成总任务解决方案。

形成的总任务解决方案一般不止1条,系统以

适当的方式向用户显示解决方案供用户选择。用户选择解决方案后进入方案实施阶段,该过程在知识库的支撑下进行制造资源服务和制造能力服务的协同调用最终完成任务。

在服务运行全过程中,云制造系统平台对运行过程中的每个资源服务的关键参数(如运行速度、运营成本、能力是否达标等)进行监控,系统根据监控数据生成系统评价。任务完成后用户根据其任务解决实际情况对本次任务及任务过程中用到的资源服务进行评价,生成用户评价。系统将本次任务的系统评价和用户评价以及任务解决全过程数据整合生成案例存入知识库中的案例库,丰富案例库案例储备,为下次类似任务提供案例参考。系统评价和用户评价中单个资源服务的评价信息被云制造系统抽取出来,写入对应的资源服务描述本体文件从而实现资源服务本体库更新。

4 原型系统验证

为验证所提出的云制造资源服务管理框架,结合现有的云计算、物联网等信息技术开发了云制造资源服务管理知识库雏形,其部分界面如图5。

名称	类型	单位	案例中的输入值	备注

图5 知识库管理系统界面

Fig.5 Interface of the knowledge base management system

(1) 人工知识获取界面。知识获取分为人工获取和半自动获取2种方式。其中,领域知识每一领域

都可以应用同一描述文档,但该文档数据量庞大,模版不好定制,所以适合以人工获取方式获得。领域知

识一般由知识工程师与领域专家交流进行知识抽取,再依靠相应的本体开发工具开发本体文档并上传加入知识库.测试本系统利用 protégé 本体开发,形成 owl 语言描述的领域本体文档,最后上传入知识库.对于已有的本体文档,系统提供工具可以实现本体的在线编辑修改功能.

(2) 半自动知识获取界面.容易形式化的推理知识、任务知识和资源服务种类繁多,通过人工获取方式获取并不现实.以资源服务获取为例开发了半自动资源服务分类获取系统.系统提供获取模版,资源发布者通过填写表单的形式完成其资源的服务化封装,形成资源服务,其本体描述文档存入资源服务本体库中,供系统进行匹配、查询、调用等操作.

(3) 案例库界面.案例的获取由任务完成的全过程中系统监控与用户评价 2 部分组成.首先对任务进行案例匹配,提供解决方案,用户选择解决方案并执行服务.任务完成后用户进行评价.系统自动将任务运行过程中的监控数据与任务完成后的用户评价数据添加到案例中形成新的案例.

5 结语

分析了知识在云制造资源服务管理中的作用,从知识管理角度出发设计了一个基于知识的云制造资源服务管理框架,对框架中各个模块进行了分析并开发了相应原型系统进行验证.现今的知识管理技术还无法满足云制造资源服务管理的需求,需要结合其特点对知识的获取、表示、存储、检索、推理等各方面进行深入的研究.

致谢:感谢清华大学黄必清教授,北京航空航天大学程颖、胡晓航,Portland State University 丛凯,中国航天科技集团王保录、张启程等对本文相关内容的贡献.

参考文献:

- [1] 李伯虎,张霖,王时龙,等.云制造——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.
LI Bohu, ZHANG Lin, WANG Shilong, et al. Cloud manufacturing: a new service-oriented manufacturing model [J]. Computer Integrated Manufacturing, 2010, 16(1): 1.
- [2] Tao Fei, Zhang Lin, Venkatesh V C, et al. Cloud manufacturing: a computing and service-oriented manufacturing model [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B, Journal of Engineering Manufacture, 2011, 225(10): 1969.
- [3] 陶飞,张霖,郭华,等.云制造特征及云服务组合关键问题研究[J].计算机集成制造系统,2011,17(3):477.
TAO Fei, ZHANG Lin, GUO Hua, et al. Typical characteristics of cloud manufacturing and several key issues of cloud service composition [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2011, 17(3): 477.
- [4] 陶飞,胡业发,张霖.制造网格资源服务优化配置理论与方法[M].北京:机械工业出版社,2010.
TAO Fei, HU Yefa, ZHANG Lin. Theory and practice: optimal resource service allocation in manufacturing grid[M]. Beijing: China Machine Press, 2010.
- [5] TAO Fei, HU Yefa, ZHOU Zude. Study on manufacturing grid and its resource service optimal-selection system [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008, 37(9/10): 1022.
- [6] Smith A D, Rupp W T. Application service providers (ASP): moving downstream to enhance competitive advantage [J]. Information Management and Computer Security, 2002, 10(2/3): 64.
- [7] 陆汝铃.世纪之交的知识工程与知识科学[M].北京:清华大学出版社,2001.
LU Ruling. Knowledge engineering and scientific knowledge at the turn of the century [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001.
- [8] 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.
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.
- [9] 陈亮.网络环境下多学科协同设计的若干关键问题研究[D].武汉:华中科技大学,2005.
CHEN Liang. Research on some key problems of multidisciplinary collaborative design in network environment [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2005.
- [10] Schreiber G, Wielinga B, de Hoog R, et al. Common KADS: a comprehensive methodology for KBS development [J]. IEEE Expert, 1994, 9(6): 28.
- [11] GUUS Schreiber, Hans Akkermans, Anjo Anjewierden, et al. Knowledge engineering and management [M]. Boston: MIT Press, 2003.
- [12] Adam Pease, Raymond A Liuzzi, David Gunning. Knowledge bases [M]. 2nd ed. Encyclopedia of Software Engineering, 2001.
- [13] Wikipedia. Ontology (information science) [EB/OL]. [2009-12-16] [http://en.wikipedia.org/wiki/Ontology_\(information_science\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Ontology_(information_science)).
- [14] 刘建伟,燕路峰.知识表示方法比较[J].计算机系统应用,2011,20(3):242.
LIU JianWei, YAN Lufeng. Comparative study of knowledge representation [J]. Computer Systems & Applications, 2011, 20(3): 242.
- [15] Neches, Fikes, Finin, et al. Enabling technology for knowledge sharing [J]. AI Magazine, 1991, 12(3): 51.
- [16] Gruber T R. A translation approach to portable ontology

- specifications[J]. Knowledge Acquisition, 1993, 5(2): 199.
- [17] Borst W N. Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse[D]. Enschede: University of Twente, 1997.
- [18] Studer R, Benjamins V R, Fensel D. Knowledge engineering, principles and methods[J]. Data and Engineering, 1998, 25(1-2): 161.
- [19] Geotge F Luger. Artificial intelligence structures and strategies for complex problem solving [M]. Beijing: China Machine Press, 2010.
- [20] Xie X L, Beni G. A validity measure for fuzzy clustering [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991(13): 841.
- [21] 邱兆雷. 基于粗糙集的增量式知识获取算法研究与实现[D]. 济南: 山东师范大学, 2008.
- QIU Zhaolei. Research and implementation about an incremental knowledge acquisition algorithms based on rough set [D]. Ji'nan: Shandong Normal University, 2008.

(上接第 1092 页)

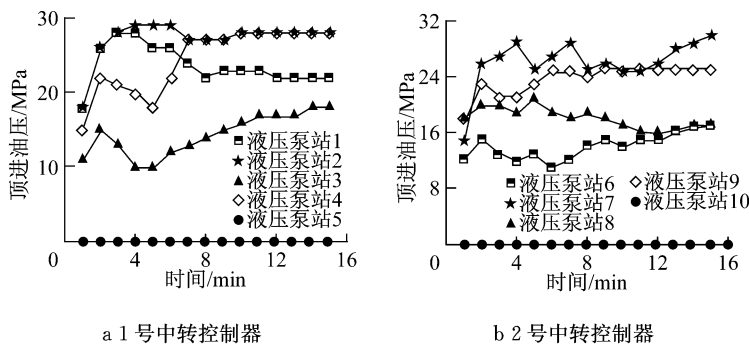


图4 液压泵站油压检测值
Fig.4 Values of oil pressures

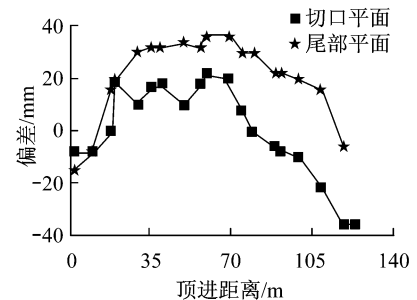


图5 偏差实测曲线
Fig.5 Displacement differences curves

自动调节;设计了具有较强抗干扰能力的硬件电路;采用双目标控制策略(位移同步和负载均衡)使多组液压缸协调动作,实现了顶进位移和速度以及油压的有效控制,推力、顶进速度和姿态可测可控。工程实测数据表明,顶进过程中箱涵切口平面和尾部平面的偏差均控制在 ± 40 mm之内。该系统保证了管幕内大断面、长距离的箱涵顶进得以顺利实现。

参考文献:

- [1] 孙均,虞兴福,孙旻,等. 超大型“管幕—箱涵”顶进施工土体变形的分析与预测[J]. 岩土力学, 2006, 27 (7): 1021.
- SUN Jun, YU Xingfu, SUN Min, et al. Analysis and prediction on soft ground deformation of a super-large shallow buried “pipe-roofing and box-culvert” jacking project under construction[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27 (7): 1021.
- [2] Clarkson T E, Ropkins J W T. Pipe jacking applied to large structures[C]// Proceedings of the Instn Civil Engrs. London: Thomas Telford Limited, 1977: 539-561.
- [3] Allenby D, Ropkins J W T. Geotechnical aspects of large section jacked box tunnels [C]// Proceedings of the Transportation Geotechnics Symposium 2003. London: Thomas Telford Publishing, 2003: 39-66.
- [4] Ropkins J W T. Jacked tunnel design and construction[C]// Proceedings of the Sessions of Geo-Congress 98. Boston: American Society of Civil Engineers, 1998: 21-38.
- [5] Wheelhouse P J, Belton J A, Auld F A. Ground freezing at dorney bridge box jacking[C]// Proceedings of Underground Construction 2001. London: The Hemming Group, 2001: 521-532.
- [6] Powderham A, Howe C, Caserta A, et al. Boston's massive jacked tunnels set new benchmark[C]// Proceedings of the Instn Civil Engrs 2004, Civil Engineering. London: Thomas Telford Limited, 2004: 70-78.
- [7] Allenby D, Ropkins J W T. The use of jacked box tunnelling under a live motorway[C]// Proceedings of the Instn Civil Engrs 2004, Geotechnical Engineering. London: Thomas Telford Limited, 2004: 229-238.
- [8] Darling P. Jacking under Singapore's busiest street [J]. Tunnels and Tunnelling, 1993, 25(Supplement): 19.
- [9] Yasuhisa B. Construction methods of the structures passing through under railway lines [J]. Japanese Railway Engineering, 1987, 26(4): 6.
- [10] Yao D T C, Wu C H. Ground Movement analysis of pipe roof construction in soft clay [C]// Proceedings of the 15th Southeast Asian Geotechnical Conference. Bangkok: AST, 2004(Vol. 1): 747-752.
- [11] 张增耀, 骆家贤. 容栅技术[M]. 北京: 中国计量出版社, 2002.
- ZHANG Zengyao, LUO Jiaxian. Capacitive technology [M]. Beijing: China Metrology Press, 2002.