

摘 要

随着计算机网络技术的发展和经济全球化,制造业面临着全球性市场、资源、技术和人才的激烈竞争。在这种环境下,制造企业急需快速整合各类资源,广泛开展企业间的协作,及时应对快速变化的市场需求。制造网格利用网络技术和信息共享技术将制造资源封装成标准、开放的网格服务,向用户提供优质的制造服务,实现资源之间透明、有效的共享。如何统一的描述网格中的制造资源,方便资源之间的访问,以及如何对资源进行服务化封装,使资源转化为网格服务,是制造网格需要解决的基础问题。本文对制造资源的建模、描述、封装等关键技术展开深入研究,主要研究成果如下:

(1) 提出了制造资源的建模方法。制造资源的建模是规范制造网格环境下制造资源管理的基础,在对网络环境下的制造资源的特点进行分析的基础上,总结了制造资源的分类模型,将制造资源分为物理资源、人才资源和服务资源,然后结合制造资源的属性,将资源的属性分为基本属性、加工属性和任务属性,从而便于资源的描述,并提出了制造网格环境下的制造资源 UML 图。

(2) 提出了制造网格环境下基于 XML 的制造资源描述方法。结合网络化制造环境,提出了资源的表示模型,将资源统一的表示成一个三元组的形式,然后,结合网格资源的统一描述语言,提出了基于 XML 的制造资源描述方法,并合实例进行了说明。

(3) 提出了制造资源的服务化封装方法。结合 WSRF 规范,通过属性解析、XML 描述以及结合 web 服务将有状态的制造资源封装成 WS-Resource,并分析了采用 Factory Service 创建 WS-Resource 和利用 Instance Service 访问 WS-Resource 的过程,实现了制造资源的物理服务封装;然后提出了物理服务选择算法,使用户不再依赖与指定的物理服务,而是可以根据业务需求灵活多变的动态绑定不同的物理服务,以适应需求的变化,从而使物理服务发生变化时也不会影响应用的执行;最后,结合设备资源的实际需求,分析了设备资源的属性和操作,实现了设备资源的服务化封装。

关键词: 制造网格; 制造资源; WSRF; 服务化封装

Abstract

With the development of network technology and economy globalization, manufacturing industry faces with the competition of global markets, resources, technology and talent. In this environment, manufacturing enterprises urgently need rapid integration of a variety of resources, extensive inter-firm collaboration and timely response to rapidly meet market demand. By making use of grid technology and information-sharing technology, Manufacturing grid can encapsulate resources to open grid services and then provide high-quality services to users, achieving transparent and effective sharing. How to describe and encapsulate manufacture resources, facilitating the access to resources, is a basic problem of Manufacturing grid. The paper make an depth research on the modeling, description and encapsulating of manufacturing resources. The main contributions of the thesis are as follows:

(1) A method of modeling manufacturing resources is put forward. Modeling Manufacturing Resource is the basis for standardizing the management in the network environment. Classification model is proposed based on analysis of the characteristic of Manufacturing resources. It is researched that Manufacturing resources can be divided into the physical resources, human resources and service resources. The attributes of resources can be divided into the basic properties, processing properties and the task attributes, facilitating the description of resources. UML diagram of the manufacturing resources is also established.

(2) A XML-based description method is discussed and solved. Combining networked manufacturing environment. an expression is proposed to represent resources into a unified form of triples, and the resources is researched to describing by XML. A example is used to explain the process.

(3) Resources encapsulation is researched. Binding WSRF specification, stateful manufacturing resources are encapsulated to WS-Resource after the process of attribute analysis, XML description and combining of web services. It is also

discussed the proces of Creating WS-Resource by Factory Service and accessing by Instance Service, achieving encapulating resources to physical service. A physical service selection algorithm is proposed, so that users would no longer be dependent on the physical services, but can dynamically choose services according to business needs. In that case, the physical changes would not affect the implementation of the application. Finally, combining of the actual needs of equipment resources, operations and the properties of equipment resources are analyzeed, achieving the equipment resources encapsualtion.

Key words: manufacturing grid, manufacturing resources, WSRF, resource encapsulation

独创性声明

本人声明,所呈交的论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知,除了文中特别加以标注和致谢的地方外,论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果,也不包含为获得武汉理工大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名: 王耀 日期: 2009.5.19

学位论文使用授权书

本人完全了解武汉理工大学有关保留、使用学位论文的规定,即:学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版,允许论文被查阅和借阅。本人授权武汉理工大学可以将本学位论文的全部内容编入有关数据库进行检索,可以采用影印、缩印或其他复制手段保存或汇编本学位论文。同时授权经武汉理工大学认可的国家有关机构或论文数据库使用或收录本学位论文,并向社会公众提供信息服务。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

研究生(签名): 王耀 导师(签名): 刘 日期 2009.5.19

第 1 章 绪 论

1.1 本课题的研究背景和意义

本课题来源于国家自然科学基金重点项目(项目编号: 50675166): 基于制造资源的网络数字控制新理论及关键技术研究。

随着市场竞争日益加剧和经济全球化, 信息技术的发展使制造业发生了根本性的变化^[1,2]。一方面, 制造企业已从传统的劳动密集型、设备密集型, 逐渐向信息密集型和知识密集型转化, 这就需要将先进的现代化信息技术融入制造过程中, 使制造业向全球化、数字化、虚拟化、开放化方向发展; 另一方面, 企业的生产逐渐从传统的“以产品为中心”转变为“以客户为中心”, 这就需要一个能提供资源与服务共享的公共平台, 快速的有效的响应客户的需求, 提供优质服务。

如今, 仅依赖内部制造资源进行生产的传统模式已经很难适应市场竞争的需求, 必须依赖外部制造资源, 结合计算机网络通信技术, 实现企业之间的协同共享, 以最短的周期(T)、最好的质量(Q)、最低的成本(C)、最佳的服务(S)、最清洁的环境(E)和最好的灵活性(F)来满足不同顾客对产品的需求和社会可持续发展的要求, 使制造业向向全球化、标准化、数字化、虚拟化、开放化方向的发展, 这是制造业的必然趋势^[3]。

一系列先进的制造模式因此涌现出来, 如计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CMIS)^[4]、敏捷制造(Agile Manufacturing, AM)^[5]、虚拟组织^[6](Virtual Organization)、虚拟制造(Virtual Manufacturing, VM)、柔性制造^[7](Flexible Manufacturing, FM)等, 通过动态联盟的方式利用跨企业的资源和制造能力, 加强了企业之间的协同合作, 提高了生产效率, 推动了制造业的信息化发展, 但是, 它们没有紧密结合计算机系统环境, 其合作联盟的自动化程度并不高, 依然要依赖过多的人工工作和人为因素, 同时也缺乏统一的标准和规范, 使得制造资源信息获取困难, 这就需要一个集成、开放、虚拟和自主特征的基础设置, 将基于数字化的并行制造工程提升到跨企业协同的高度, 有效地解决网络化制造面临的资源共享与协作难题, 促进企业间的交流,

提升企业的竞争力。

网络技术是一种新兴的网络技术，能实现网络虚拟环境上的资源广泛共享和协同工作，为产品全生命周期内各个阶段相关设计制造资源和智力知识等信息的集成提供了有效的思路，将网络技术应用于制造业，可以将各种高性能计算机、服务器、PC、信息系统、海量数据存储和处理系统、应用模拟系统、虚拟现实系统、仪器设备和信息获取设备(例如传感器)等异构的分布的资源通过网络节点的形式进行统一封装^[8]，向用户提供统一资源访问入口和透明资源服务，在全球范围内快速形成资源配置系统，满足企业资源共享的需要。

制造资源是企业完成产品整个生命周期所有生产活动的物理元素的总称，贯穿产品生产的全过程，既包括既包括制造系统中有形的实体，如原材料、在制品、产品、设备、资金、人员等物化资源，也涵盖了技术、文档、数据、知识、营销体系等无形资源^[9]。由于制造资源分布于不同国家的不同企业和组织，种类繁多而且功能各异，具有地域上的分布性、组织上的动态性、管理上的统一性和自治性以及使用的透明性^[10]等特点，制造网格应该使企业用户能方便快速的获得各种制造服务，方便地形成面向特定企业制造需求的专业化应用系统，实现企业间的商务协同、设计协同、制造协同和供应链协同，支持企业快速响应市场变化，为企业带来实际价值。

制造网格必须要建立动态的系统以适应客户需求的变化。制造资源由参与制造网格的各个企业提供，其可获得性是随着时间而动态变化的，另外，其提供给用户的使用能力也是随时间而动态变化的，原来可用的资源随着时间的推移可能变得不再可用，而原来没有用的资源也会逐渐加入进来，其可靠性和可用性存在不确定性，制造网格应该能保证一个节点的资源故障不会影响到整个制造应用，在流程控制下完成虚拟企业模型的业务过程。

对制造资源进行合理的封装，就是建立一个分类明确、层次清晰、规格统一的制造资源运行机制，并能让制造企业方便的通过该模式来封装、发布、组织、发现和调用制造资源支持用户随时随地利用跨地域分布的制造资源，缩短产品研制周期，降低成本，还可以租售本企业的空余资源或购买本企业没有的资源，达到资源的优化共享，最终实现企业的利益最大化。本课题的研究将有助于改变制造业中制造资源相对分散、知识和信息资源相对孤立的局面，提高制造企业的技术创新能力和市场反应能力，推动敏捷制造、全球制造、网络化制造等先进制造模式和系统的发展和应用。

1.2 相关领域国内外研究现状

1.2.1 网格的研究现状

随着实际开发和使用的过程中网格理论和实践迅速发展,各个国家和地区都投入了大量的资金进行网格技术研究和网格基础设施建设,出现了大量的开发社区和网格项目。

美国是网格技术的发源地,到目前为止美国政府每年用于网格技术基础研究的经费已经达到 5 亿美元。NPACI (National Partnerships for Advanced Computational Infrastructure) Grid^[11]是由美国自然基金会 (National Science Foundation, 简称 NSF) 资助的网格研究项目之一,其目的是建立一个能够满足 NPACI 科学计算需求的先进计算体系,它是由一系列分布于各个资源站点的硬件资源、软件资源、网络资源及数据资源构成,已经在主要包括圣地亚哥超级计算中心,德克萨斯先进计算中心及密歇根大学安装配置完成。全球信息网格 (Global Information Grid, 简称 GIG)^[12],它是美国军方 2010 网络中心战 (Net Centric Warfare, 简称 NCW) 计划的基础性研究项目,用于建立一个以成熟的商业技术为基础的真正分布式的运行与传送系统。该计划预计在 2020 年完成,其中仅美国海军部分就将投入 160 亿美元。Globus^[13]是目前全球最有影响的网格研究计划之一,美国的 12 所大学和研究机构参与了该项目,其中包括美国阿冈国家实验室、芝加哥大学、南加州大学,IBM 公司现在也参与了 Globus 项目。根据 Globus 的观点,在网格计算环境下,所有可用于共享的主体都是资源,如计算机、高性能网络设备、昂贵的仪器、大容量的存储设备、各种科学数据、各种软件等都是资源,分布式文件系统、数据库缓冲池等也可以理解为资源。实际上,只要在网格计算环境中对用户存在利用价值的东西都可理解为资源。Globus 在对资源管理、安全、信息服务及数据管理等网格计算的关键理论进行研究的同时,还开发出能在各种平台上运行的网格计算工具软件,帮助规划和组建大型的网格实验平台。目前, Globus 已经把 WebService 技术融合进来,开发出了 Globus Toolkit4 版本,希望能够对各种商业应用提供广泛的、基础性的网格环境支持,实现更方便的信息共享和互操作。

欧洲的网络研究和建设也非常活跃,已启动多个网格项目,其中比较有影响的是欧洲数据网格 (European Data Grid, 简称 DEG)^[14],其目的是通过连接广泛分布的科学资源建立支持数据密集型计算 (Data Intensive Computing) 应

用的下一代计算平台。此外,英国政府已投资 1 亿英镑,开发英国国家网格(UK Natinoal Grid, 简称 UKNG);法国启动的国家网格计划,前 3 年计划的经费投入是 1000 万美元;荷兰国家网格计算计划将使 5 个大学的研究人员能够更有效的在生物信息及粒子物理等科研项目方面进行合作,这一网格计算计划包含 5 台 Linux 集群系统,通过荷兰大学的高性能网络连接在一起。

在亚洲,日本是进行网格研究比较早的国家之一,Ninf 是日本正在实施的全球计算基础设施项目,该项目允许用户访问包括硬件、软件和数据在内的分布在广域网上的各种资源。此外,泰国、韩国、印度等亚洲国家也相继启动了网格项目,如韩国的 N*orid 项目、印度的 I-Grid 网格等^[15]。

除了政府和科研机构,很多信息产业界的大公司也相继公布了与网格目标一致的研究开发计划。HP、IBM、Microsoft、Sun 等公司最近取得共识,支持 XML、SOAP、UDDI 等万维网标准,从而更有利于开发新一代的网格应用。其目的是将因特网上的资源和信息汇聚在一起,组合成企业和消费者所需要的服务。IBM 最近宣布,将投资 40 亿美元,启动一个全公司的“网格计算创新计划”,在全球建设 40 家数据中心,其投资力度和商业计划都很惊人。从企业来讲,美国 GM 公司建设了自己的企业网格,是运行得最好的。它将该公司分布在世界各地的设计制造部门、营销部门都连入网格中,实现了从订单到销售的最快速的全数字化服务。

在我国,从 2002 年开始,国家科技部“863 计划”、教育部、上海市纷纷启动了网格研究项目。目前正在进行的网格研究项目有“863 计划”支持的“中国国家网格”(ChinaNationalGrid)、中国科学院计算所的“织女星网格”(vega Grid)、“973 计划”支持的“语义网格”、国家教育部构建的“中国教育科研网格”(ChinaGrid)以及上海多所大学共同参加的“上海网格”^[16]等。

随着各国学者的努力,网格理论取得了一定得成果。一些重要的网格标准也相继制定。2004 年 1 月 20 日,Globus Alliance, IBM, HP, SAP 等提出了 web 服务资源框架(WS-Resource Framework, WSRF)^[17],将网格服务与 Web Services 相结合,以特定的消息交换和相关的 XML 模式,定义了使用 Web 服务来访问有状态资源的一系列规范,初步实现了网格服务和 Web 服务的统一,经多次修正和更新后,正式被 OASIS 组织批准接纳为 WSRF OASIS 标准。Web 服务规范是 Web 服务资源框架(Web Service Resource Framework, WSRF)。WSRF 规范在 Web 服务环境中对资源的状态进行建模,即提出 WS-Resource

的概念。WS-Resource 被定义为 Web 服务和有状态资源的组合，它具有两个特点：

(1) 组件状态采用 XML 文档描述，使用 XML 文档定义它以及它与 Web 服务的接口类型；

(2) 采用“隐性模式”寻址和访问有状态资源,通过 WS-Addressing 的端点引用(Endpoint Reference, EPR)来寻址。

WSRF 是一个包含 5 个技术规范的集合^[17]，如表 1-1 所示，它根据特定的 Web 服务消息交换和相关的 XML 定义确定了 WS-Resource 方法的标准化描述。

表 1-1 WSRF 技术规范

名称	功能描述
WS-ResourceLifetime (Web 服务资源生命周期规范)	允许服务请求方销毁或是按预先计划销毁 WS-Resource，从而灵活地设计 Web 服务应用程序以清除不再需要的资源。
WS-ResourceProperties (Web 服务资源特性规范)	描述相关的有状态资源和 Web 服务来产生 WS-Resource，以及 WS-Resource 的公共可见特性 被获取，更改，删除；WS-Resource 特性声明是 WS-Resource 状态的一个影射或视图
WS-RenewableReferences (Web 服务可更新引用规范)	为某个 Web 服务寻址端点引用 (Address Endpoint Reference) 标注相关信息，当目前引用无效时可以重新获得新的端点引用。
WS-ServiceGroup (Web 服务服务组规范)	Web 服务和 WS-Resource 可以为了某个领域的特定目的而聚集或组合；为了让请求者能够根据服务组 (Service Group) 的内容进行有意义的查询，必须以某种方式来限制组中成员的资格。
WS-BaseFault (Web 服务基本错误规范)	为基本错误定义了一个 XML 模型类型以及 Web 服务如何使用这种错误类型的规则。当来自不同接口的可用错误信息都一致时，请求者理解错误就更加容易。与此同时，开发一种通用的工具来帮助处理错误也变得更加可能。

(1) WS-ResourceLifetime: WS-Resource 的销毁可以与销毁请求同步，也

可以通过调度析构机制来定时销毁，而且指定的资源特性可以被用来检查和监测 WS-Resource 的生存期；

(2) WS-ResourceProperties: WS-Resource 的类型定义可以由 Web 服务的接口描述和 XML 资源特性文档组成，并且可以通过 Web 服务消息交换来查询和更改 WS-Resource 的状态属性；

(3) WS-RenewableReferences: 如果 Web 服务端点引用所包含的寻址或者策略信息变得无效或者陈旧可以被更新；

(4) WS-ServiceGroup: 无论服务是否是 WS-Resource 类型都可以定义成异构的、通过引用访问的 Web 服务集合；

(5) WS-BaseFaults: 通过基本错误的 XML Schema 的使用，规范基本错误类型的应用规则，使错误报告更加标准化。

通过这五个规范，WSRF 定义出一个通用且开放的架构，利用 Web 服务对具有状态属性的资源进行存取，并包含描述状态属性的机制，另外也包含如何将机制延伸至 Web 服务中的方式。服务的请求者能够发现 WS-Resource 的类型和对状态进行操作，包括读取、更新和查询它的状态值、管理它的生命周期等。WS-Resource 方法有利于服务之间的互操作，为不同服务提供者和服务使用者描述、访问和管理有状态资源提供了一种通用方法。

1.2.2 网格技术在制造业中的应用现状

在制造业，首先进行网格应用的是美国国家航空航天局(NASA)和美国自然科学基金会(NSF)的联合研究计划的 IPG(Information Power Grid)项目^[18]，网格用户可以通过 IPG 中间件从任何地点访问广泛分布的异构的各种资源，NASA 内部的科学家和工程师都可以成为 IPG 的用户，它建立了一个完全分布式的计算和数据资源的管理环境，以支持大型科学和工程问题的异地协同。欧洲也逐渐开始了网格在制造业中的研究，欧盟的 SIMDAT 研究计划是一个以数据和仿真服务为核心的制造网格应用，旨在建立一个将数值模拟和知识发现用于过程和产品开发的数据网格，SIMDAT 目前关注三个工业界的应用：汽车、飞机和制药行业的产品开发，为大型跨国制造企业中的技术人员提供对设计数据的无缝访问等。福特公司使用网格技术构造了一个网上集市，通过网络连到她的 3 万多个供货商，这种网上采购不仅能降低价格，节省 80 亿美元的采购成本，还能缩短采购时间^[19]。波音公司在 F-18E/F 的设计中，利用网格技术联合组织多

家研究中心协作进行全机流场 CFD 模拟,最终找出了中等攻角经常发生单侧机翼突然失速的原因;新加坡国立大学的 Gary Tan 等人提出了当前经济环境下供应链的作用,提出了将网格技术应用到分布式供应链(DSC)仿真,同时指出了网格应用的诸多优点^[20]。德国 Falk Neubauer 等人研究了网格服务中的 workflow 管理^[21]。美国佛罗里达中心大学研究了智能网格环境下的 workflow 管理^[22]。英国沃里克大学高性能系统实验室的 Junwei Cao 等研究了用 A4 (Agile Architecture and Autonomous Aents) 来管理计算网格的资源。

目前,国内研究院对制造网格进行了了较多的探索性研究,有代表性的包括上海大学、清华大学、广东工业大学、武汉理工大学和西北工业大学等^[23,24]。上海大学以本校分散在异地的快速制造资源为例,将每台设备和每套软件都作为一个资源节点,通过相应的管理系统和网格接口加入到网格中,资源节点间通过共享 STEP+XML 格式的信息和数据,彼此协同工作,共同完成整个任务,从而实现了装备资源互联。广东工业大学借鉴计算网格的理念,探讨了模具特许连锁制造网格系统的基本架构,并构造了模具特许连锁制造网格体系之物料供应系统。武汉理工大学对开放网格服务结构(OGSA)进行了剖析,研究了虚拟组织的构建方法及其在制造资源共享中的作用,并采用 STEP 国际标准,基于 OGSA 虚拟组织模式,提出了一种适合产品全生命周期制造资源共享的接口模型,将广泛异构的制造资源放在网格环境中进行共享控制,实现将分散在不同地理位置的制造企业有机结合,另外还对对网格环境下的资源共享机制进行了研究,并实现了以气门产品开发的具体过程中的资源共享。西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验针对网络化制造和虚拟制造等制造模式在资源动态配置和共享中存在的不足,结合制造活动和制造资源共享的特点,详细分析了制造网格的内涵及特点,构造了面向资源共享的、以服务为核心的制造网格系统,并对其中的资源建模、软件系统封装与集成、资源管理、任务管理与调度等关键技术进行了探讨和研究。

国内外在此领域的研究还有很多,此处不再一一罗列,这些研究成果为网络化制造的研究及其系统的构建与实施奠定了坚实的基础,并为进一步推动网络化制造产业化积累了经验^[24]。由于网络化制造自身的复杂性以及多企业参与性等特点,网格技术在制造领域的应用研究还处于初步探索阶段,多数仅是借鉴计算网格的思想提出了制造网格的概念和框架模型,目前国内外研究大多仍集中在对网络化制造的理论、方法、技术的探讨,系统应用方面尚处于理论研

究与应用示范初始阶段。网络化制造涵盖了设计、制造、销售、物流、服务等各个方面。不同的制造领域、不同的业务活动、不同的产品粒度划分（如整机、部件、零件等），网络化制造的具体实现过程存在许多不同之处，其实现方式必然呈现多样化，其服务化封装也各不相同。在国内大部分企业信息化程度低，中小企业星罗棋布的情形下，在资源的分散化共享和协同方面依然还存在许多问题。通过对制造网格技术的研究，可望解决这些企业急需的重要信息获取、优质资源共享和分布式资源库共享等问题，增强国内制造企业的竞争力，提升企业的生产水平。

1.3 本论文的主要工作

制造网格的实质就是在动态可扩充的虚拟组织中可控且平等地共享和使用资源。在制造网格环境下如何统一的描述异构分布的资源并封装成方便用户访问和调用的网格服务，是影响制造网格性能能否成功的重要因素之一。本文以制造资源为研究对象，对其建模、描述和封装等问题进行了深入的探讨和研究。主要研究工作如下：

（1）提出了一种制造资源的建模方法，结合网格环境下的制造资源的特点，对制造资源进行了分类，总结了制造资源的分类模型，然后分析了制造资源的属性，可以将其分为基本属性、加工属性和任务属性，并结合 UML 面向对象建模的思想对制造资源进行了建模。

（2）建立了规格统一的描述机制。为了合理的利用制造资源，采用一体化、开放式地描述机制表达制造资源，屏蔽网格环境下的异构信息，消除资源表达的二义性，准确反映资源的自身信息、企业信息、技术信息等。

（3）研究了资源的服务化封装。以服务为中心，将资源、信息、数据等统一起来，首先将资源封装为物理服务，并对应于与逻辑业务相关的逻辑服务，使服务和资源解耦合，实现灵活、一致、动态的共享机制，并提供标准的接口和行为，方便资源的访问和调用。

第 2 章 制造资源的建模与描述

2.1 制造网格的体系结构模型研究

制造网格的目的在于应用网格技术，为跨地域、跨企业的分布异构制造资源提供一种资源共享和协同工作的环境，使用户提交的制作任务能在动态组成的虚拟组织中完成。根据网格的五层沙漏模型原理^[25]，结合 OGSA 架构建立了制造网格体系结构，如图 2-1 所示，将制造网格分为资源层、服务封装层、中间件层、应用层和用户层。

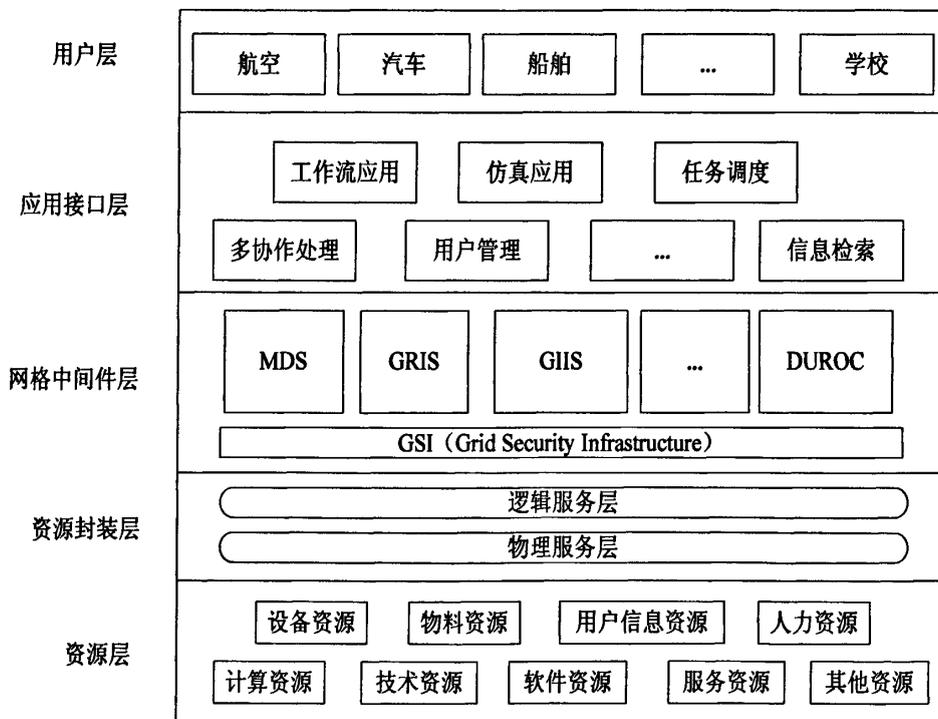


图 2-1 制造网格体系结构

资源层是生产制造过程中的人力资源、设备资源、原料资源、技术资源、服务资源、软件资源、用户信息资源、计算资源等制造资源资源的总和，它们是建立在 Internet 基础上的，通过网络信号被用户访问和调用，是制造生产过

程中所必须要涉及的基础设施。

资源封装层是对底层资源层的封装^[26]，将把制造资源封装成为制造服务。OGSA 架构是以服务为中心的体系结构，一切都是服务，因此制造网格首先要将各种制造资源描述和封装为服务，即把种类繁多、结构各异且分布的软、硬件资源抽象成为制造网格服务，同时对上层提供相应的操作接口，只需要通过调用相应的操作接口便可以实现对资源的访问和共享。对上层而言，资源是透明的。资源封装层可以分为物理服务层和逻辑服务层。物理服务层是物理部署的可执行软件构件，IT 层面的服务，是对某些物理的或者逻辑的资源，以及一些应用逻辑在网络上的展现。使用者通过明确定义的接口来与一个服务交互，且接口的描述基于 WSDL (Web Service Description Language) 开放标准。物理服务处于不同的网格域中，有不同的共享和管理策略。消费者可以是最终用户、应用程序或其他服务。逻辑服务层在物理服务和网格应用之间提供了一个绝缘层，删除了他们之间的紧密绑定。用户或应用程序不再依赖于任何给定的物理服务。用户可以根据业务需求，直观、便捷的选择、重组逻辑服务，完成新的制造任务，适应灵活多变的业务需求。同时可以动态绑定不同的物理服务实例，以适应需求的变化。业务流程是动态变化的，用户可以根据业务需求，直观、便捷的选择、重组逻辑服务，完成新的制造任务，适应灵活多变的业务需求。

网格中间件层是在制造网格核心中间件提供的编程环境和制造服务的基础上开发网格应用系统的相关工具包，是运行在客户机或者服务器系统上的一类独立的系统软件或服务程序，是制造网格核心中间件层功能的扩充和补充，提供适合虚拟环境下的协同制造所需的各类服务。目前采用的较多的是 Globus Toolkit4 作为网格平台，在该平台中已经提供了常用的一些服务(也可以称作网格系统服务或管理服务)，例如 MDS、GRIS、GIIS、DUROC 等，提供了公共的基础框架。另外，用户也可以根据自身的实际需要来增加服务来实现其特点。

应用层是基于 Web 模式的制造网格接口工具，是通过调用网格中间件提供的 API 或其他各种服务，可以定义基本原语、产生与其对应的解释机来构架高层次的、智能的工具集，负责提供友好、易操作的协同交互接口，如在线订单、在线企业资源计划、在线产品数据管理、多方协同应用、信息搜索与浏览、协同设计、仿真、工作流应用、任务管理、用户管理等用户接口。

用户层是基于不同企业的服务协同需求而开发的一个制造网格应用系统汇集层。制造网格平台可以面向制造的各个领域，如航空、汽车、轮船、军工等。

这些应用系统包括制造网格的产品数据管理系统，协同设计系统，协同制造系统，远程设备控制和诊断系统等许多基于网格架构服务的应用程序。这一层提供系统能接受的语言，如 HPC++ 和 MPI 等，还可提供 Web 服务接口，使用户可以使用 Web 方式提交其作业并取得计算结果^[27]。

通过制造网格的各层，各企业用户利用网络和应用工具包就可以屏蔽掉资源的异构性和分布性，方便使用制造网格平台的各种资源，顺利完成提交的任务，享受制造网格服务，达到企业间的协同和信息共享。

2.2 制造资源的建模

2.2.1 制造资源的分类模型

制造资源种类繁多，而且在制造过程中所起的作用也不尽相同，其属性信息、能力状态、网络共享方式也千差万别，为了统一的描述制造资源，必需首先对制造资源进行分类，根据资源的形态以及在制造活动中发挥的作用^[28]，如图 2-2 所示，将制造资源分为以下三大类：

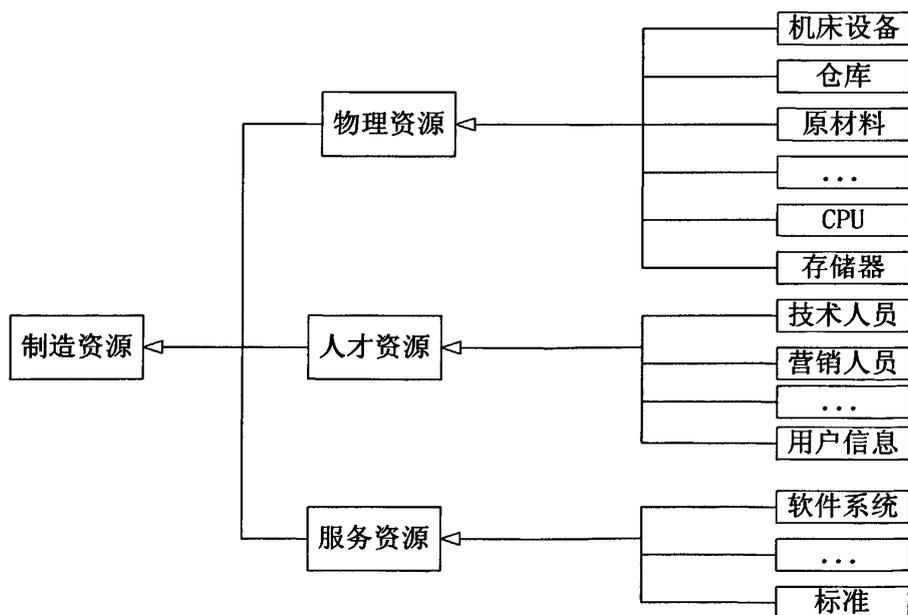


图 2-2 制造资源的分类

(1) 物理资源：物理资源是在制造生产过程中物理存在的有形的资源，它

既包括机床、加工中心、加工工作站、计算机数据机床（CNC）、柔性制造系统（FMS）、快速成型等具有具体制造能力的可以直接对其他资源进行铸造、焊接、锻造、冲压、粘结、装配等加工程序的物理设备，也包括特种钢材、毛坯、半成品和成品原料、仓库、运输工具等在制造系统中制造某种产品所需的物料资源，另外，随着制造业与计算机产业的结合，制造网络环境下的 CPU、存储器、数据库等资源虽然不能直接加工原材料，但是是物质存在的并且协助制造设备生产制造产品，也属于物理资源。

（2）人才资源：人是制造过程的主体，既是制造活动的组织者，又是制造活动的执行者，一般的制造活动必然有人的参与。人才资源就是在制造系统的整个生命周期中与人相关的资源的集合。它既包括在企业制造过程中完成设计图纸、设计流程、工艺流程、管理流程、营销流程等任务的技术工人、专家、推销人员、客户服务和维修人员等，同时也包括用户的信誉度、规模、员工数量、固定资产、产品特点等资源记录提供者和资源使用者的信息。

（3）服务资源：服务资源是在制造生产过程中提供无形的服务的资源的集合，它既包括网络制造过程中设计系统、分析系统、仿真系统、虚拟现实、三维展示系统、管理系统等计算机软件资源，也包括国际标准、国家标准、行业标准、企业标准等为资源使用者提供各种信息的咨询、培训和维护的资源。

这三大类资源的每大类资源在属性描述、使用方式等方面具有很多共性的地方，可以将异构的复杂的资源分门别类，找出共性的地方，结合面向对象的思想，对制造资源进行向下的层次划分和向上的特征抽象，通过逐层的属性继承，能简化资源的描述，便于资源的服务化封装。

2.2.2 制造资源的属性模型

模型是针对实际研究对象的一种抽象，通过对模型的分析、研究，可完成对实际对象的理解和认识^[29]。制造资源的复杂性导致了制造网格系统的复杂性，由于制造网格系统相对于用户来说是一个单一映象的系统，本文在资源建模过程中应遵循完整性和统一性相结合的原则，即既要尽量完整的表示每种资源的性质，又要考虑到各种类型资源的不同属性，用统一的模型和方法表示各种类型的资源。

由于制造网格中的资源来自不同的企业，因此需要建立统一的属性模型，即通过对制造资源属性的抽象，抛弃所有与系统相关的资源特性，只从资源属

性中提取那些可以被量化或可以被简单地统一表示的部分，以描述资源所处的状态。如图 2-3，制造资源的属性可以分为基本属性、加工属性和任务属性。

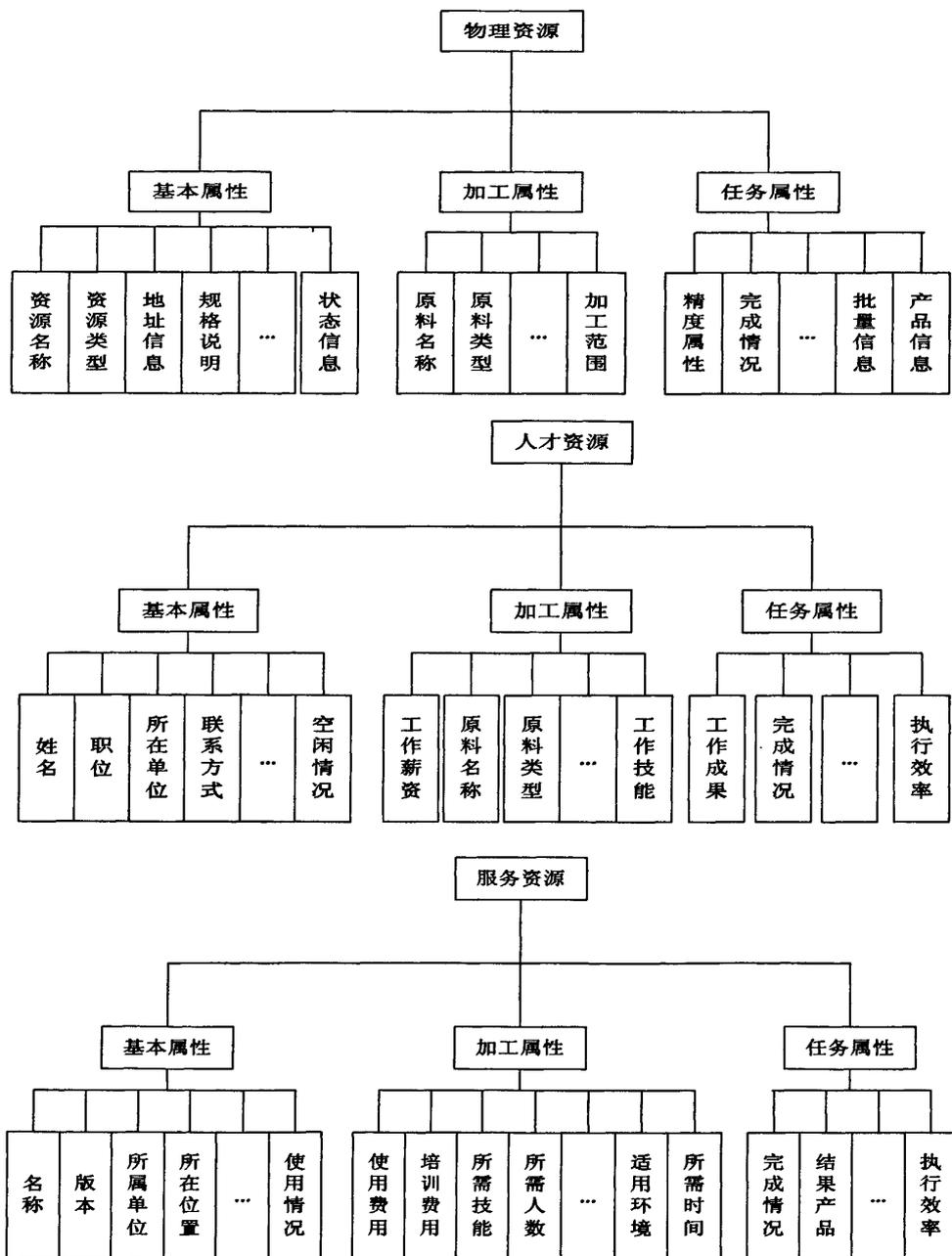


图 2-3 制造资源的属性模型

基本属性是制造资源本身的属性信息，它包含资源的规格概要信息和能力属性。资源的规格概要信息描述了资源的总体情况，包括资源 ID、名称类型、描述说明、地址信息、几何特征等。能力属性表示资源在加工原材料和生产产品过程中所涉及的动态属性，包括行为属性（如磨、钻、铸、刨等）、状态属性（如空闲、忙碌、已预定、暂不可用、失效）等。状态属性是影响资源能力可用性的关键因素，只有当空闲状态时，资源才能通过行为属性对产品制造加工。基本属性从总体概括了资源自身的信息，是资源的重要标识，在资源定位、调度和分配等过程中起着重要作用。

加工属性是从资源供给的角度，描述了制造过程中待加工的原料信息，它包括原料名称、原料类型、原料产地、原料说明、原料联系人、加工范围、加工尺寸等。加工属性可能是有形的物质存在的信息，如人力信息、物料信息、设备信息等，也可能是无形的抽象的信息，如知识信息、服务信息、技术信息等，它是资源进行加工处理的来源信息，是生产制造的首要保证。

任务属性描述的是制造过程中产品的状态信息，它包括产品基本信息（如产品名称、产品类型、产品尺寸等）、精度属性（如粗糙度、几何精度、转换精度等）、批量信息（大批量生产、小批量生产、单一生产）等。任务属性直接反映了资源制造的最终能力，影响资源的选择、定位、管理等过程。

这样，每类资源既具有共有的属性，还可以根据其具体的用途资源拥有其独特的属性，即制造资源既继承了父类的共性的特征，同时也派生了自己的特性，是符合面向对象思想的，可以利用面向对象的方法对资源进行建模。

2.2.3 基于 UML 的制造资源建模

类是对一类对象的抽象，类与类之间的继承关系构成类的层次结构。对象、类和关系是面向对象数据模型的组成要素，其中对象是类的实例，是应用领域中一切具有明确边界和意义的事物。类是对一组具有相似特性的对象的抽象。类和对象的完整描述包括名称、属性和操作。对象的属性和属性值描述了对象的状态、组成和特征。对象间的通讯是通过消息传递的，消息作为一种方法的请求机制，用来激活需要各种不同对象服务的某一活动。外界也只能通过消息与对象通信，消息按照对象中方法的接口说明规定的形式传给对象，对象接收此消息后调用相应的操作，操作完后以消息的形式返回操作结果^[30-32]。因此，在对制造资源的建模过程中，除了需要描述单独的类的名称、属性和操作外，

还需要描述类之间的联系。

本文采用面向对象的统一建模语言(UML)的类图和对象图(Object Diagram)来描述数据对象、类及它们之间的关系，建立制造资源的数据模型^[33]。类图是用类和类之间的关系描述系统的一种图形表示。对象图是用对象和对象之间的关系描述系统的一种图形表示，是类图的一种变体。类图和对象图都是对数据静态结构的描述。将资源类型对应化为类，实体资源转化为对象，资源的属性转化为对象的属性，然后将资源之间的联系转化为对象之间约束关系，最后将对信息的操作转化为类方法，可以得到制造资源的 UML 图，如图 2-4 所示。

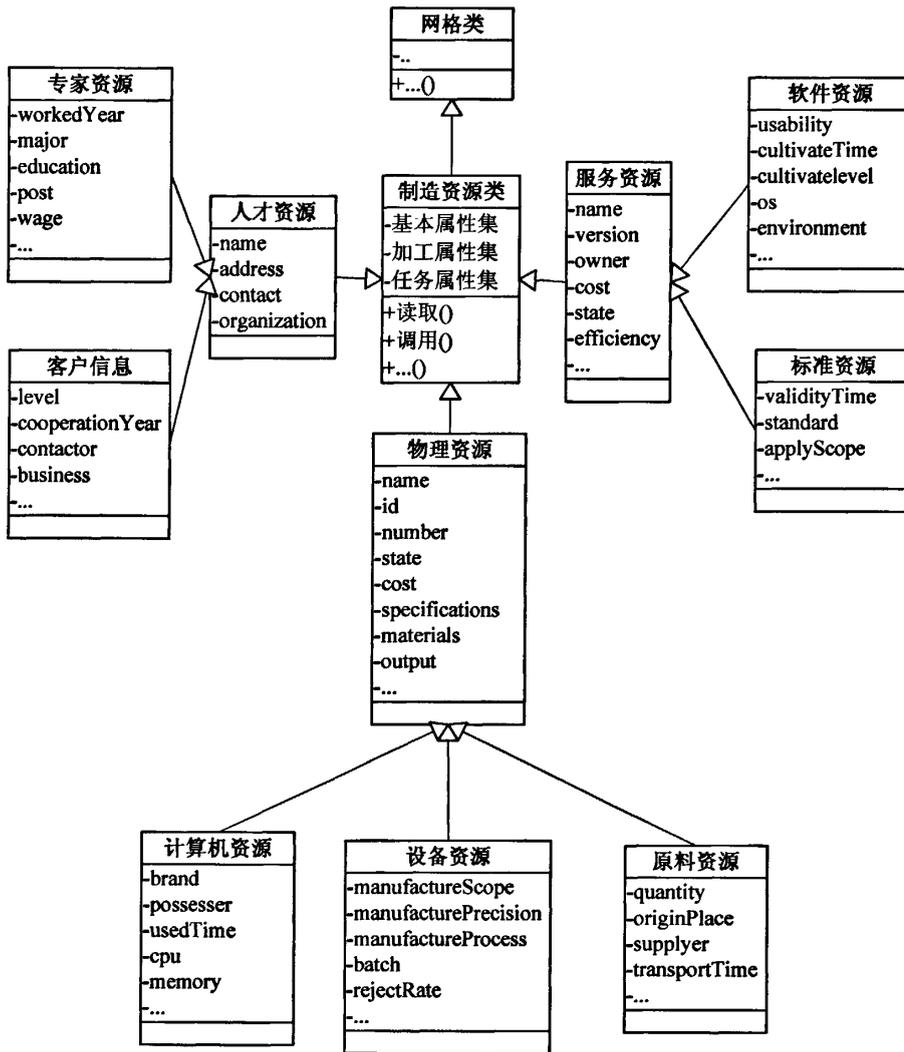


图 2-4 制造资源的 UML 图

图 2-4 表示了网格类、制造资源类、资源基本属性集、加工属性集和任务属性集以及各分类资源来描述制造网格中的制造资源及其关系。网格类是对所有网格环境下资源、用户、任务等所有实体的抽象，资源类是所有制造网格下制造资源的抽象，它包括人才资源、物理资源、软件资源所覆盖的制造设备资源类、专家资源类、软件资源类、客户资源类、标准资源类、原料资源类、计算机资源类和其它相关资源类。制造资源类是网格类的一个子类，除了继承网格类的属性和关联之外，它的关联还包括活动关联、父资源类关联和子资源类关联，其属性包括基本属性集、加工属性集和任务属性集等。同理，制造设备资源类、专家资源类、软件资源类、客户资源类、标准资源类、原料资源类、计算机资源类和其它相关资源类也继承资源类的资源基本属性集、加工属性集和任务属性集等，另外，根据其在制造过程中所起的作用，还拥有其各自的特性以及相应的操作，就构成了制造资源的 UML 分类图。

2.3 制造资源的描述

2.3.1 资源的表示模型

制造资源的描述是资源共享、资源发现等过程的重要环节，它将不同用户的应用联系起来。在制造网格中的资源为不同的企业或个人所有，他们定义了一套自己的资源表示方式，并且提供着各种不同的功能。同一种资源可能有多种表述，同一种功能可能有不同的服务接口。这样势必造成资源的浪费、管理的混乱和资源的重复利用，严重地阻碍了制造网格的发展进程，这就需要统一的表示制造资源的属性。根据制造资源的模型，结合资源的特点，可以将一个制造资源的属性表示成一个三元组， $RES = \langle ID, DI, RP \rangle$ ，ID 为资源标识，用于唯一标识资源，DI(DecisionInfo)为资源的决策信息，是资源选择的依据，RP 为资源的属性元集，描述的是资源的其他属性信息。

ID 是资源的标识信息，唯一标识了资源，它必须以统一的行业分类法来分配，并尽量使相似类型的资源具有相邻的服务类型编码。即使名称相同的资源若实现逻辑不同则会有不同的 ID。外界通过调用 ID 从而访问资源。

DI 表示了资源的决策信息。决策信息 DI 是制造网格中逻辑服务选择物理服务的决策内容，便于用户按照制造生产的实际需求准确查找合适的资源。DI 通常由与决策相关的加工属性、任务属性和状态属性组成，例如服务功能描述

信息（包括输出类、输入类、条件类等信息）、QoS 评估信息（包括 TQCS 信息）、制造能力信息、连接信息、状态信息、过程信息等。

RP 是与资源的标识和选择决策无关的基本属性、加工属性、任务属性的集合，它是资源其他属性信息的综合，显示了资源的总体运行状况。

2.3.2 基于 XML 的制造资源统一描述

可扩展标记语言(eXtensible Markup Language, XML), 是万维网协会(W3C)设计的一种可扩展的标记语言。XML 是一种柔性的标记语言, 提供了制定通信协议的标准框架, 它是 Internet 环境中跨平台的依赖于内容的技术, 是当前处理结构化文档信息的有力工具^[34]。利用 XML, 数据可以被唯一的标识, 用户可以很容易的以标准的方式按照标识信息、决策信息和属性集信息来搜索到满足条件的资源。

在计算网格中信息的组织和传输形式都是遵照 XML 的规范化和格式的, 在网格中, 任何资源都是以 WSDL 文件来提供给用户统一的接口, 而 WSDL 文件又是以 XML 语言的形式来描述的^[35], 因此需要将资源描述成 XML 格式的文件, 通过一系列的标记标识资源的数据, 因为 XML 是跨平台的, 以达到屏蔽资源分布性异构性的作用。当资源描述成 WSDL 文件后, 可以将其部署到网格容器中, 对外呈现为制造服务, 被外界所访问。

2.4 应用实例

在制造业中, 软件系统为制造工业的自动化起到了巨大的推动作用, 是重要的制造资源。软件系统不仅可以利用计算机对不同方案进行大量的计算、分析和比较, 快捷的决定最优的解决方案, 还可以将数字的、文字的或图形的数据放在计算机的内存和外存里, 将繁重的制造工作交给计算机完成, 从而减轻人员担负计算、信息存储等项工作, 提高工作效率。SolidWorks 是著名的三维 CAD 软件开发供应商 SolidWorks 公司发布的一款先进的 3D 机械设计软件, 可以通过大大改进大型装配处理和使得数以百计的繁杂设计工作自动化, 让机械设计师只花费一小部分时间即可设计出更好、更有吸引力、在市场上更受欢迎的产品, 在产品的设计过程中起着极其重要的作用^[36]。本文中, 以软件资源中的 SolidWorks 为例, 对 SolidWorks 的特性进行归纳和分析, 采用 XML 语言对

资源进行表示和描述。

表 2-1 SolidWorks 的资源属性

属性值		描述
基本属性	name	资源对外界提供的名称
	version	SolidWorks 的版本类型
	providerID	提供者的 ID
	designMethod	设计方式
	resourceStatus	资源的状态
加工属性	humanNum	设计所需的人数
	hunmanTech	设计者技术水平
	designObject	需要设计的实体
任务属性	designStatus	设计的完成情况
	designTarget	设计成果
	finishTime	任务完成时间

表 2-1 是 SolidWorks 的资源属性表，其可以描述成：

```

<xsd:element name=" providerID " type="xsd:string"/>           //资源标识信息
<xsd:element name="DI" type="xsd:string">                     //资源决策信息
<complexType>
<sequence>
<xsd:element name=" resourceStatus" type="xsd:string"/>
<xsd:element name="designObject" type="xsd:string"/>
</sequence>
</complexType>
</xsd:element>
<xsd:element name="RP" type="xsd:string">                     //资源属性集信息
<complexType>
<sequence>
<xsd:element name="resouceBaseInfo" type="xsd:string">
</sequence>
    
```

```

<complexType>
  <xsd:element name=" name" type="xsd:string"/>
  <xsd:element name=" version " type="xsd:integer"/>
  <xsd:element name=" designMethod " type="xsd:string"/>
</complexType>
</sequence>
</xsd:element>
<xsd:element name="manufactureInfo" type="xsd:string">
  <complexType>
    <sequence>
      <xsd:element name="humanNum" type="xsd:string"/>
      <xsd:element name=" hunmanTech " type="xsd:string"/>
    </sequence>
  </complexType>
</xsd:element>
<xsd:element name="taskInfo" type="xsd:string">
  <complexType>
    <sequence>
      <xsd:element name="designStatus" type="xsd:string"/>
      <xsd:element name=" designTarget " type="xsd:string"/>
      <xsd:element name=" finishTime " type="xsd:string"/>
    </sequence>
  </complexType>
</xsd:element>
</complexType>
</sequence>
</xsd:element>

```

将 SolidWorks 资源描述成 XML 格式后，然后定义其资源的操作，表示成 WSDL 文件，就完成了 SolidWorks 资源的描述，部署到网格容器后，便形成了 SolidWorks 服务。

2.4 本章小结

本章首先研究了制造网格的体系结构模型，然后分析了制造网格系统中制造资源的特点，从资源提供者的角度，按照资源的属性以及在制造活动中发挥的作用，对制造资源进行了分类，建立了资源的分类模型；然后研究了制作资源的属性信息，将资源的属性分为基本属性、加工属性和任务属性，建立了资源的属性模型；采用面向对象的统一建模语言 UML 描述了表示制造资源信息的类、对象及它们的关系；最后建立了资源的表示模型，将资源表示成一个三元组的形式，并通过 XML 格式描述出来，从而实现了制造资源的统一描述。

第 3 章 制造资源的服务化封装研究

3.1 制造资源的物理服务封装

3.1.1 基于 WSRF 的资源封装

制造资源的种类繁多，功能各异，且分布在不同国家的不同企业和组织中，并不局限于某个国家和地区，具有极强的异构性，如果从整个制造系统的角度出发，直接进行网格内部的研究和开发，将会使系统变得非常复杂，难于协调和标准化，因此，可以利用信息隐藏机制^[37]，将能够提供相同类型服务的物理意义上的制造资源及其相应的更新、发布、调用、发现、订阅等方法封装起来，形成一系列相互独立、协同运作的网格服务，为产品开发生命周期中的所有过程提供技术支持和可靠运行环境。网格服务在执行制造任务时，不需要知道其内部实现细节，只要通过接口对资源进行操作，从而方便了资源的管理和使用。

WSRF 规范是 Grid Service 与 Web Service 相结合的产物，是目前网络的通用标准，定义了使用 Web 服务来访问有状态资源的一系列规范，从特定的消息交换和 XML 规范的角度，定义了 Web 服务资源接口的表现形式，构建了 Web 服务和一个或者多个有状态资源之间的关联关系，从而将资源封装成 WS-Resource^[38-40]，如图 3-1 所示。在 WSRF 中，所有资源都是有状态的。资源的状态包含资源属性、Web 服务与有状态资源的交互涉及某些资源属性的值。

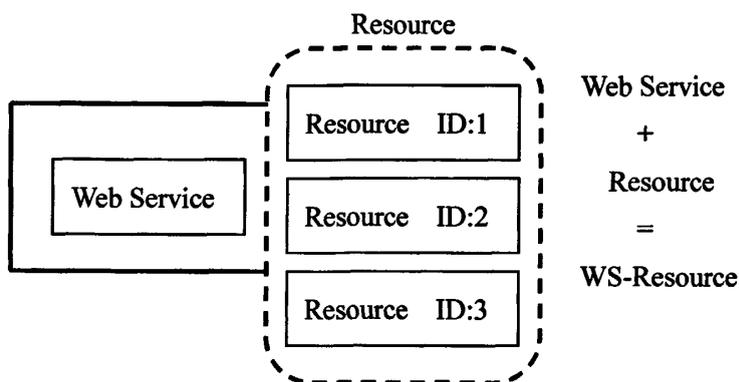


图 3-1 WS-Resource 结构

一个符合 WSRF 规范的 WS-Resource 可以关联多个制造资源，并根据 ID 对资源进行处理，因此，可以将具有共同或相近属性的一类制造资源作为 WSRF 服务的一项资源，使 WSRF 服务成为该类资源的公共服务，然后将资源的共同操作作为 WSRF 服务的接口。当外界使用资源时，可以找该资源对应的 WSRF 服务，并调用服务的接口，对资源进行操作，从而响应请求。

本文将多个具有相似属性的资源封装成一个 WSRF 资源，采取公共的 WSRF 服务来响应操作，WSRF 实现了资源的加载和注销等操作，可以看成该类资源的容器，在服务运行的时候可以添加新的资源，实现资源的热部署。

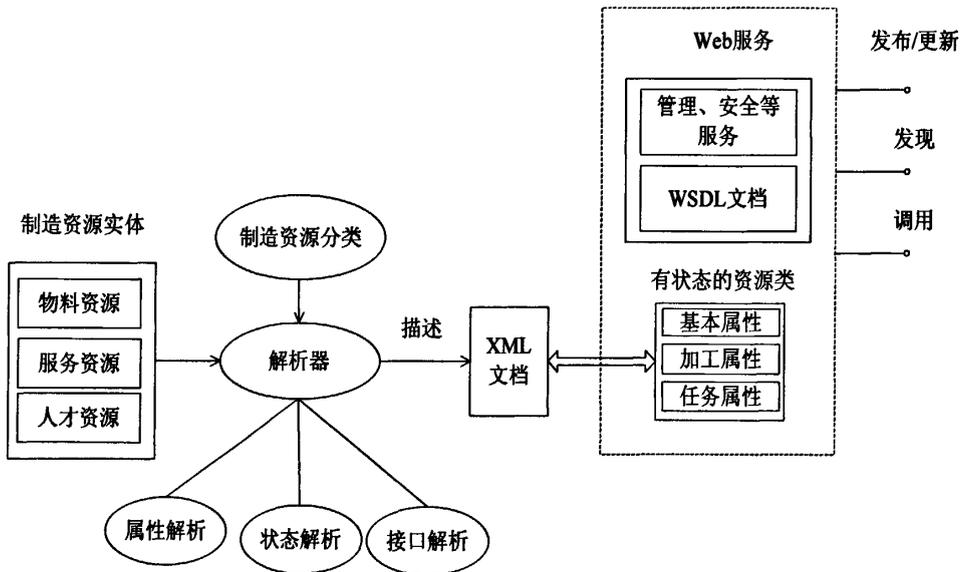


图 3-2 WS-Resource 封装过程

如图 3-2 所示，描述了将制造资源封装成 WS-Resource 的过程。首先，分析资源的种类，建立资源的描述模型，根据资源在制造过程中起的作用解析出资源的属性信息、状态信息、接口信息等，并形成 XML 格式的资源属性文档。其次，由于在网络化制造环境下，实体存在的资源必然对应于网络上能够识别的资源类，那么根据资源的 XML 文档，可以构建出具有基本属性、加工属性、任务属性的有状态的资源类，此时，资源类就是对应于实体存在的资源，当资源类的属性发生变化时，资源的状态也会发生相应的变化。在 Web 服务中，加入资源的其他服务操作比如管理、安全等，Web 服务与有状态的资源相结合，得到了 WS-Resource，对外呈现统一的调用接口。最后，由于在网格环境中服

务是通过 WSDL 格式来描述的，因此，需要根据已有的服务接口定义组成服务的描述，将生成的 WSDL 文档发布到 UDDI 注册中心，以供服务使用者查询和调用服务。用户程序可以通过 UDDI 注册中心查询服务，获得服务的调用、订阅、更新等服务规范。在执行制造任务时，服务会自动找到对应的有状态资源类，和具体的资源交互，完成调用过程。

通过上面的步骤，制造资源能够通过标准的接口以服务的形式实现网络之间信息的交互、共享。局部资源封装成为可供网络上能应用共享的全局资源，并屏蔽了资源的异构性，以一致透明的方式供应用对其进行访问。网络中间件的核心服务可以方便的完成对封装后的资源的控制和管理，并对资源的实时状态进行监控，为资源的优化调度提供基础。

3.1.2 WS-Resource 交互调用

当用户与网格服务交互的时候，需要定位交互状态信息的资源，那么用户的请求信息中首先就应该包括网格服务的位置信息和其对应资源的信息，使得交互时用该 Web 服务对应的资源存储状态信息。

端点引用（EPR, Endpoint Reference）是 WS-Addressing 规范的一部分，用来定位特定的 WS-Resource。EPR 包含了地址组件和引用属性组件这两个组件。地址组件（Address component）用来说明有状态资源的位置（在 HTTP 协议中，通常是 URL）；引用属性组件（ReferenceProperties component）描述有状态资源的属性，引用属性包括有状态资源标识符（identifier）子组件，图 3-3 说明了端点引用、标识符、地址组件、引用属性组件间的关系（端点引用 EPR 的结构）^[41]。

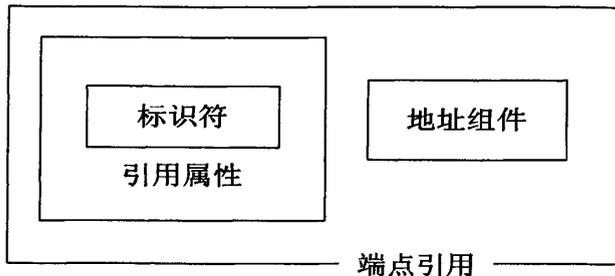


图 3-3 端点引用的结构

当有状态资源被访问时，端点引用的引用属性包含在 SOAP 的消息头中，被访问的 Web 服务从 SOAP 中得到有状态资源的标识符，通过标识符来识别有状态资源。

当用户需要新的 WS-Resource 时，通过 FactoryService 来创建新的资源并进行资源的初始化，完成初始化后，返回 WS-Resource 的 EPR。用户根据返回的 EPR 激活服务的操作，对服务的操作作用在新创建的资源上。

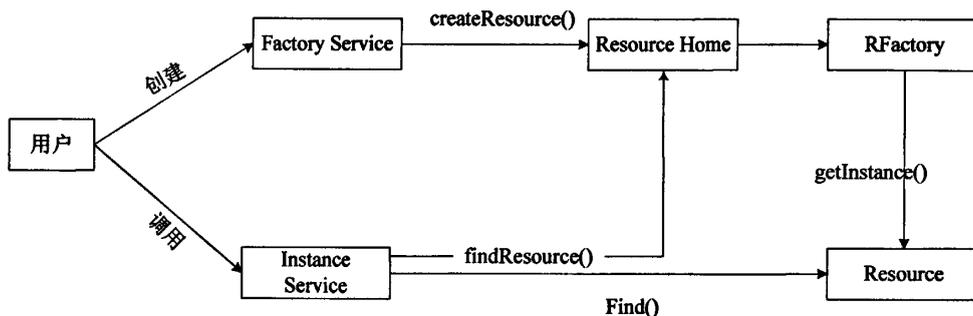


图 3-4 WS-Resource 的管理

如图 3-4 所示，Factory Service 类和 Instance Service 类是为处理多个资源需要部署两个服务。其中 Instance Service 对应于相应的资源实例，包含资源的属性信息，同时也提供网格应用所需的操作。Factory Service 负责创建新的资源，当接收到用户请求时，会收集 URL 信息以及 instance Service 信息，然后根据 key 值和 instance 的 URL 信息返回所创建 WS-Resource 的 EPR 信息。

ResourceHome 接口为资源管理者提供了资源的创建和发现机制，它负责维护和管理其资源列表，具体包括接收 FactoryService 的请求创建新的资源、将新创建的资源加入其维护的资源列表、网格应用激活服务时负责查找指定的资源，保留交互状态信息等。ResourceHome 维护的类表中每个资源对应为一个 ResourceKey，Instance Service 可以调用其 find 方法，只需要输入特定 Key 值，便可以返回所需的特定资源。Factory Service 通过 ResourceHome 的 create 方法来直接创建新的资源。当网格应用同 Web 服务交互过程中保留状态信息的资源不再需要时，则销毁该资源，即根据资源所对应的 Key 值来定位资源，再从 Home 的资源列表中调用 remove 方法移除该资源。

Rfactory 类是资源的工厂类，用来使资源的实现和创建解耦。当用户需要资源时，ResourceHome 接口会通知 Rfactory 类，Rfactory 根据用户的需要创建资源，这样，外界只是知道 Rfactory 的 getInstance 方法可以创建资源，却并不

知道其具体创建过程，大大降低了耦合性，提升了扩展性。

在制造资源封装为有状态资源过程中，当 ResourceHome 需创建多个资源时，维护资源列表时必须对各个资源进行区分，因而需要在新资源创建的时候分配一个唯一的标识 (ResourceID)，以区别其他状态资源。多资源模式下，在网格域创建状态资源的时候，指定一个随机整数来标识该资源，在网格域取出该标识产生 ResourceKey 的对象 (ResourceKey 是 EPR 信息的一部分，供服务来识别其所作用的资源实体)。

3.2 逻辑服务封装

3.2.1 物理服务到逻辑服务的转化

由于制造资源种类繁多，网格上的物理资源也相应的庞大复杂，这就是对资源的查找和定位造成了难题，另外，如果网格应用与物理服务直接相连，两者紧密绑定，耦合性较大，当制造资源动态变化时，物理服务会随之发生变化，时刻影响网格应用。因此，有必要对物理服务进行更高一层的抽象服务，对资源层而言屏蔽了物理服务的复杂性和不确定性，对用户而言隐藏了具体 Web 服务的执行细节，便于任务的执行^[42,43]。

逻辑服务是为了解决用户使用网格资源困难，通过组装细粒度的网格服务以满足用户的特性需求。用户可以根据业务需求，直观、便捷的选择、重组逻辑服务，采取动态的组装技术向信息中心动态查询以发现符合条件的物理服务，完成新的制造任务，适应灵活多变的业务需求。逻辑服务仅仅是虚拟的，它并不是对应于具体的资源，因此，并不是实际的存在，仅仅是执行过程的一个逻辑蓝图。

图 3-5 表示了物理服务向逻辑服务转换的过程。当用户提出服务请求时，提供服务的组织通过索引，查询出满足用户需求的所有物理网格服务，并按照预定的执行蓝图动态的组装应用系统，为用户提供服务。

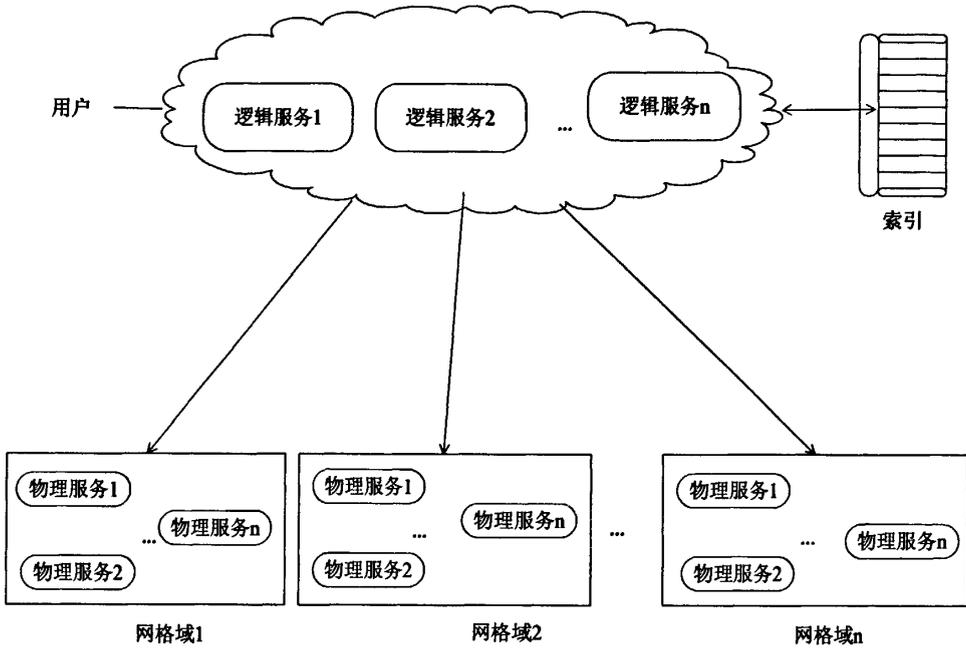


图 3-5 物理服务向逻辑服务转换过程

3.2.2 物理服务的匹配算法设计

当执行一个制造任务时，企业用户会根据制造业务需求，从高层目标上进行业务流程建模，得到逻辑流程，选择合适的逻辑服务，逻辑服务会根据逻辑流程中的每个逻辑选择相应的物理服务，物理服务会根据资源的操作接口实现对资源的访问和调用。

在以服务为中心的网格环境中，为了保证用户的 Qos 需求以及不同的子服务间能够相互协调一致的工作，OGSA 要求网格服务能“交付无缝的服务质量”。因此用户对最终调用的物理服务的要求不仅包括功能需求，更包括服务质量的要求甚至服务相关的状态要求，而且逻辑服务最终是要选择一个满足需求的物理服务集合，因为物理服务的 Qos 和状态信息是动态变化和实时更新的，因此需要一种匹配算法，合理的匹配逻辑服务与物理服务，并对物理服务按照一定的规则进行排序，当有多个物理服务满足需求时，如果最优的服务发生故障，可以选择次优的服务代替。图 3-6 表示的是物理服务与逻辑服务的匹配过程。

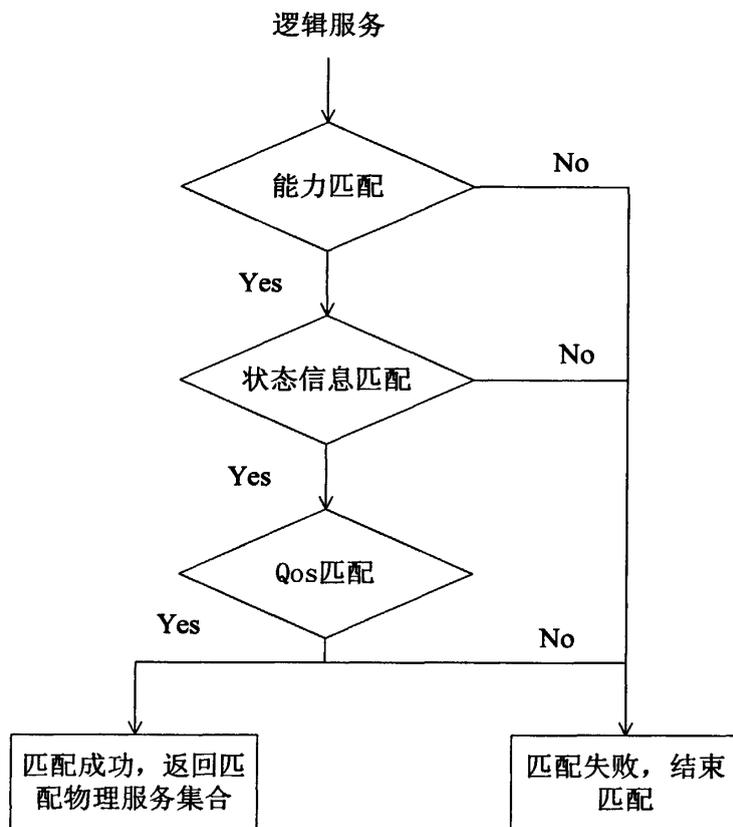


图 3-6 物理服务的匹配过程

如图 3-6 所示, 首先对服务的能力信息进行匹配, 只有当资源的能力满足用户的基本需求时, 才能被用户所调用, 如果待选物理服务不符合用户的基本需求, 则说明找不到用户所需要的服务, 返回匹配失败结果。在能力信息与客户的需求信息匹配时, 则进行下一阶段的状态信息匹配, 即判断资源是否具有可用性, 如果不可用, 返回失败; 如果资源是可用的, 再进行 QoS 匹配, QoS 的通用指标是资源服务的时间、信誉、成本和可靠度, 根据这些指标的判断, 返回具有一定优先序列的物理服务集, 作为逻辑服务所对应的物理服务。

层次分析法是一种定性和定量相结合的、系统化、层次化的分析方法, 它通过明确问题, 建立层次分析结构模型, 构造判断矩阵, 层次单排序和层次总排序五个步骤计算各个层次构成要素对于总目标的组合权重, 从而得出不同可行方案的综合评价, 为选择最优匹配方案提供依据^[44]。

建立层次模型是层次分析法的第一步。在深入分析所要研究的问题之后,

将问题中所包含的因素划分为不同层次，包括最高层、中间层和最低层。其中最高层是目标层，表示决策者所要达到的目标；中间层是准则层，表示衡量是否达到目标的判别准则；最底层是方案层，表示可供选择的方案。层与层之间的连线表示上下层之间各元素的相关关系。将同一层次的因素作为比较和评价的准则，对下一层次的某些因素起支配作用、同时它又是从属于上一层次的因素。对于复杂的决策问题，其目标可能不止一个，这时可将目标层扩展成两层，第一层为总目标，第二层为并列的分目标；其准则也可能不止一层，也可划分为准则层和子准则层，如图 3-7 所示。

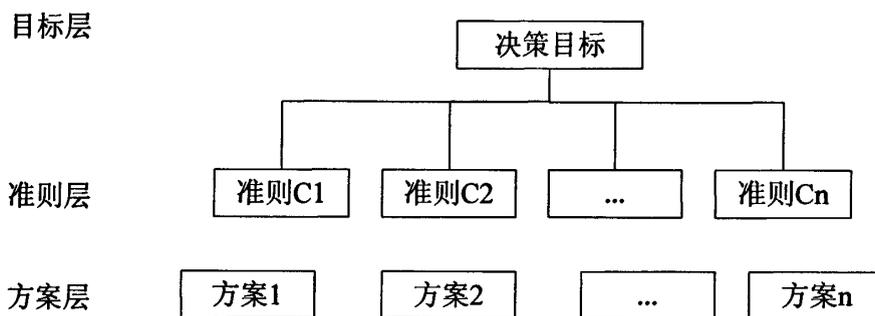


图 3-7 层次分析法结构示意图

在网络化制造环境中，只有当资源的能力信息与状态信息符合用户的要求时，才会根据服务的 QoS 进行决策选择。这里，将决策目标选为满足企业用户需求的物理服务，准则层采用 TQCS（时间、质量、成本和服务）做为准则，从而找到最优的物理服务。

在建立层次结构模型以后，需要对各个准则的相对重要性做出判断，在层次分析法中，为了使判断量化，将这些判断通过引入合适的标度用数值表示出来，写成判断矩阵。用户在提交任务的同时，可以指出 TQCS 各个准则的不同重要程度要求，如表 3-1 所示。

表 3-1 数量标度

标度	1	3	5
定义	同样重要	稍微重要	明显重要
标度	7	9	2, 4, 6, 8
定义	重要得多	极端重要	上述相邻判断的折衷

这里以 4*4 的判断矩阵为例，可以得到判断矩阵 B，如表 3-2 所示。

表 3-2 判断矩阵

B	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
B ₁	1	B ₁₂	B ₁₃	B ₁₄
B ₂	B ₂₁	1	B ₂₃	B ₂₄
B ₃	B ₃₁	B ₃₂	1	B ₃₄
B ₄	B ₄₁	B ₄₂	B ₄₃	1

其中 B₁、B₂、B₃、B₄ 为评价准则，B_{ij} 表示准则 B_i 相对于 B_j 重要性的量化。采用 1-5 标度的方法来确定，根据重要性的不同，B_{ij} 可以取 1 到 9，以及他们的倒数。该矩阵是角对角矩阵，即 B_{ij}=1/B_{ji}，B_{ii}=1。

在判断矩阵建立后，要检验判断矩阵的一致性。首先，可以将每一列做归一化处理，即：

$$\bar{b}_{ij} = b_{ij} / \sum_{k=1}^4 b_{ik} \quad (i, j=1, 2, 3, 4) \quad (4-1)$$

将每一列归一化后各个矩阵的元素按行相加：

$$\bar{w}_i = \sum_{j=1}^4 \bar{b}_{ij} \quad (i, j=1, 2, 3, 4) \quad (4-2)$$

对向量 $\bar{w} = [\bar{w}_1, \bar{w}_2, \bar{w}_3, \bar{w}_4]^T$ 归一化处理，得出各个准则的相对权重：

$$w_i = \bar{w}_i / \sum_{j=1}^4 \bar{w}_j \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (4-4)$$

即可以得到所求的特征向量：

$$w = [w_1 \quad w_2 \quad w_3 \quad w_4]^T \quad (4-5)$$

此时 w 为权重向量，它反映了各个因子对某准则的影响权重。再计算矩阵最大特征根 λ_{\max} ，对于一致性 n 阶正互反，A 的最大特征根 $\lambda_{\max} \geq n$ ，且 λ_{\max} 越大矩阵的不一致性，因此可用 $\lambda - n$ 的数值大小来衡量矩阵的不一致程度，可用 Satty 引用的不一致比率衡量：

$$CR = CI / RI \quad (4-6)$$

Satty 给出的 RI 与 n 的对应数值如表 3-3 所示。

表 3-3 RI 与 n 对应数值表

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.91	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.53

当一致性比率 $CR < 0.1$ 时认为整个层次的比较判断通过一致性检验，用户输入的矩阵元素才能用来进行层次排序。

按照同样的步骤和方法构造方案层相对于准则层的判断矩阵，计算相对权重进行一致性检验，求得 4 个目标准则的相对权重向量 w_1, w_2, w_3, w_4 。确定相对于总目标的层次总排序，如表 3-4 所示。

表 3-4 层次总排序

W	w_1	w_2	w_3	w_4	方案层排序
P_1	w_{11}	w_{21}	w_{31}	w_{41}	$\sum_{j=1}^4 w_j w_{j1}$
P_2	w_{12}	w_{22}	w_{32}	w_{42}	$\sum_{j=1}^4 w_j w_{j2}$
P_3	w_{13}	w_{23}	w_{33}	w_{43}	$\sum_{j=1}^4 w_j w_{j3}$
P_4	w_{14}	w_{24}	w_{34}	w_{44}	$\sum_{j=1}^4 w_j w_{j4}$

其中， $W = [w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4]^T$ 为准则层相对总目标的权重； $W_i = [w_{i1} \ w_{i2} \ w_{i3} \ w_{i4}]^T (i=1,2,3,4)$ 分别为方案层 P 相对于准则层 B_1, B_2, B_3, B_4 的权重。

最后，根据总排序的值就可以表示出各种符合条件的物理服务集合，排在前面的物理服务是最佳的，当该服务无效的时候，会自动选择次佳的，这就实现了物理服务与逻辑服务的匹配。

3.2.3 应用实例

以多个功能上满足某个制造任务的物理资源来说明层次化决策的步骤和过程，满足功能要求且状态符合要求的物理服务 A、B、C 的相关 QOS 属性，如表 3-5 所示。

表 3-5 服务的 QOS 相关属性

服务	完成时间(天)	质量	成本(千元)	服务
A	20	一般	80,000	二级
B	28	良	60,000	一级
C	30	优秀	70,000	一级
D	25	良	75,000	三级

完成时间是需要考虑的重要因素，时间越多，说明完成的进度越慢，物理服务的优先度就越低。在这里，根据 1-9 标度法来确定各服务在时间指标下的

判断矩阵：A的时间最短，权重最大，C的时间比A明显短，因此A/C=5，而D的时间比A稍微高，A/D=3；B介于两者之间，因此A/B=4；B比C、D的时间略少，则B/C=2，B/D=2；C比D时间稍微多，因此D/C=3，可以得到判断矩阵，如表3-6所示。

表3-6 相对于“完成时间”的判断矩阵

完成时间	A	B	C	D	权向值
A	1	4	5	3	0.489
B	1/4	1	1/2	1/2	0.188
C	1/5	2	1	1/3	0.089
D	1/3	2	3	1	0.234

经过归一化处理后，可以计算判断矩阵的权重，得到0.489, 0.188, 0.089, 0.234。计算矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max} = 4.127$ ，进行不一致判断，不一致指标CI=0.0423，那么不一致比率为0.047<0.1，验证了矩阵的合理性，那么该输入数据有效。

依次按照此法，列出质量、成本和服务准则的权重值，这些权重值向量就是准则的总判断矩阵，如表3-7所表示。

表3-7 准则的总判断矩阵

物理服务	完成时间	质量	成本	服务
A	0.489	0.156	0.065	0.213
B	0.188	0.227	0.532	0.342
C	0.089	0.390	0.222	0.342
D	0.234	0.227	0.181	0.103

在制造生产过程中，四个准则的重要性也不一样，这里将质量准则作为最重要的决策因素，成本准则相对次之，服务准则其次，时间准则最后考虑，即质量>成本>服务>时间，因此质量比成本稍微重要，比服务明显重要，比时间重要的多，可以将质量/成本设定为3，质量/服务设定为5，质量/时间设定为7，依次可推得成本/服务设定为3，成本/时间设定为5，服务/时间设定为3。准则的判断矩阵P，如表3-8所示。

表 3-8 各准则的判断矩阵

矩阵 P	完成时间	质量	成本	服务	权向值
完成时间	1	1/7	1/5	1/3	0.098
质量	7	1	3	5	0.415
成本	5	1/3	1	3	0.296
服务	3	3	1/3	1	0.191

由归一法可以求得近似特征向量 $\lambda_{\max}=4.241$ 。于是可以求得不一致性指标 $CI=0.081$ ，结合随机一致指标 RI 值(其中 $n=4$ 时 RI 值为 0.91)，可得到不一致性比率 $CR=CI/RI=0.088<0.1$ ，说明一致性比较好，可以进行决策判断。

根据表 3-4 可以求出最终的层次总排序结果，本例的计算结果为： $P=(0.173,0.332,0.302,0.193)^T$ 。根据层次分析算法，可以看出物理服务 B 最优，应最先被选中，虽然 B 在时间上比较慢，但是在成本和服务准则上占据优势，在最重要的质量准则上也比较优秀，因此是最佳的，次佳的是 C 服务，其质量是最好的，由于质量准则的权重最大，故其排名靠前，然后是 D 服务，最后是 A 服务。这样，将逻辑服务对应了一个具有优先顺序的物理服务集，当优先的服务实效时，可以连接次优先的服务，方便了资源的协同共享。

3.3 本章小结

本章结合 WSRF 规范，分析了在网格环境下制造资源的物理服务化封装过程，将资源封装成为 WS-Resource 结构的服务，从而屏蔽了制造资源的异构性，并对外实现统一的调用接口，分析了 WS-Resource 的交互调用过程，方便企业用户创建和访问服务，分析了物理服务到逻辑服务转化的过程，将物理服务转化成为逻辑服务，解除了资源和服务的紧密绑定，使用户只需要调用与逻辑业务有关的逻辑服务，便可以找到相应的物理服务，实现对资源的操作。最后提出了物理服务与逻辑服务的匹配算法，为逻辑服务选择最优的物理服务，并结合实例说明了该算法。

第 4 章 设备资源封装实例设计

4.1 设备资源的需求分析

设备资源是指可供企业在生产中长期使用，在反复使用中基本保持原有实物形态和功能的劳动资料和物质资料的总称，产品设计过程中的重要资源。为了便于企业在网络环境中快捷的获取所需的零部件，在供应商和企业之间，企业与企业之间架起了桥梁，有必要将设备资源进行合理封装，形成网格服务，使其能在一个开放性、方便维护的、能集成各种异构设备系统的、应用范围较宽的环境中访问、调用和处理。基于 WSRF 的设备库通过设备信息的大范围共享，显著提高设备的重用程度，这样，各个企业不用自己建立设备系统，只需在制造网格平台上发布自己企业的设备信息，也可查询其它企业的设备信息，因此，使用设备的企业可以方便地利用标准件和通用件快速设计和制造出个性化产品；专业化设备供应商能有效地推销自己的产品，扩大批量，降低成本。

为了合理化、规范化设备的信息，首先要对设备进行分类，这里采用设备语义特征描述来说明专用件的有关特征，按照资源在不同行业中的用途，设备库中建立了一个较为简单的机械产品层级分类目录^[45-46]：产品大类型—产品对象类，如图 4-1，产品层级分类目录可以随着使用范围的扩展而扩展。

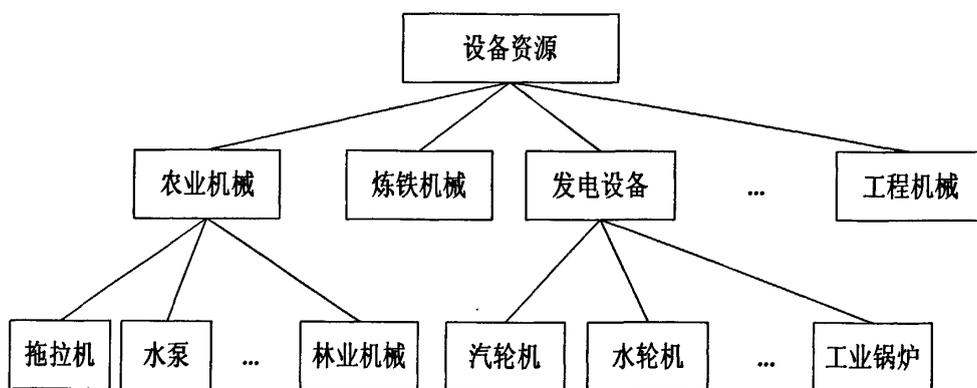


图 4-1 设备资源的分类图

在本文制造资源的分类中，设备库资源属于物理资源，它的建立过程是：

对设备的集合形状进行相似性分析；在设备的结构、用途进行分析的基础上提出其 UML 模型；添加到资源列表中，使企业用户能方便的在网络上看到设备的各种属性，并选出满足要求的设备。

4.2 基于 WSRF 的设备封装设计

4.2.1 设备资源的属性结构

设备资源种类繁多，不仅包括静态的不变的信息属性，而且包括动态的变化的属性，可以将它分为基本属性，加工属性和任务属性，基本属性即描述制造资源基本特征的信息，包括名称、数量、供应商、生产厂家、供应商、形状、状态等信息；加工信息包含资源在制造生产过程中需要输入的信息，包括原料、最大负载、使用费、运输费等信息；任务属性是资源在制造过程中输出的信息，包括加工能力、批量信息、完成量等属性信息，如表 4-1 所示。

表 4-1 设备资源的属性结构

	属性信息	属性表示
基本属性	资源标记	id
	资源名称	name
	资源数量	num
	生产厂家	manufactureFactory
	供应商	supplier
	形状描述	shapeSet
	状态信息	state
加工属性	原料信息	materials
	最大负载	loading
	使用费	useCost
	运输费	transportCost
	所需时间	time
任务属性	加工输出	output
	批量信息	batchInfo
	完成量	finishPercent
	质量评价	quality

根据设备资源的属性结构，可以将设备资源表示为一个三元组的形式：

Component = <ID, DI, RP>

其中, ID 对应于资源的标记信息, 主要对应于资源标记和资源名称属性, 即 ID 可以表示为 <id, name>。DI 为资源的决策信息, 用于资源在进行封装的时候逻辑服务选择物理服务的决策, 是与资源的实际使用密切相关的重要信息, 包括加工输出、状态信息、使用费、所需时间、质量评价等信息。RP 是资源的其他属性信息, 包含了设备资源的常见信息, 是与决策和标识无关的其他基本属性、加工属性的集合。

4.2.2 设备资源的接口设计

设备资源的属性信息表示了资源在制造生产过程中所处的某个特征的信息。随着与其他资源相互合作, 资源通过接口被外界动态的访问和操作, 实时改变属性信息, 使其满足制造任务的需求, 从而实现了资源之间的协同共享。

资源的接口定义了制造网格资源能够提供给外界什么样的服务, 根据制造网格资源需要实现的功能可以将其接口分为四类, 分别是功能接口、通知接口、任务管理接口、属性操作接口, 每一类接口都是一类操作方法的集合, 其中, 功能接口提供了制造资源实现制造资源功能的方法, 使资源能完成其制造任务; 通知接口提供了实现对制造资源属性的订阅/通知的方法, 当资源属性发生变化时, 外界可以通过接口得知并作出反应; 任务管理接口提供了对制造网格资源任务队列的管理方法, 当多个任务来临时, 资源可以对任务进行协调, 保证其有条不紊的执行; 而属性操作接口提供了对制造网格资源属性信息的操作方法, 通常是一个 getter/setter 方法, 对资源的属性实时的读取和改变。

4.2.3 设备资源的 WSDL 文档描述

在网格环境下, 资源的属性和操作是基于 Web 服务描述语言定义的, 封装在一个 WSDL 文档中。WSDL 文档提供在线服务的业务逻辑和服务描述, 它定义了一种 XML 语法, 允许服务提供者描述基本的请求格式, 不用考虑使用的协议或编码就可以把请求发送到服务提供者的系统中。WSDL 将 Web 服务描述为能够进行消息交换的通信端点的集合, 为分布式系统提供文档, 用于自动执行应用程序通信中所涉及的细节。

WSDL 文档在网格服务的定义中主要有类型 (Type)、消息 (Message)、端口类型 (PortType)、绑定 (Binding)、端口 (Port)、服务 (Service) 等元

素。当一个资源封装为网格服务时，资源的属性和操作就被定义在 WSDL 中，其中，属性信息对用的是 WSDL 的 Type 元素中，操作接口对应的是 portType 下的 operation 元素。

设备资源属性信息对应的 WSDL 文档可以如下表示：

```
<wsdl:types>
  <element name="IdInfo">
    <complexType>
      <element name="id" type="xsd:string"/>
      <element name="name" type="xsd:string"/>
    </complexType></element>
  <element name="DIInfo">
    <complexType>
      <element name="state" type="xsd:string"/>
    ...
  </complexType></element>
  <element name="RPInfo">
    ...
  </element>
</wsdl:types>
```

以设备资源的获得资源状态操作 getState()操作为例，对应的 WSDL 文件内容如下：

```
<wsdl:types>
  <xsd:element name="getState"><xsd:complexType/></xsd:element>
  <xsd:element name="getStateResponse" type="xsd:string"/>
  ...
</wsdl:types>
...
<wsdl:portType name="ComponentPortType">
  <operation name="getState">
    <input message="tns:GeStateInputMessage"/>
    <output message="tns:GetStateRPOutputMessage"/>
  </operation>
</portType>
```

```
</operation>
....
</wsdl:portType>
...
<wsdl:message>
  <message name="GetStateInputMessage">
    <part name="parameters" element="tns:getState"/>
  </message>
  <message name="GetStateOutputMessage">
    <part name="parameters" element="tns:getStateResponse"/>
  </message>
</wsdl:message>
```

4.2.4 服务的实现和部署

当 WSDL 文档定义好后, 需要将 WSDL 文档映射为特定的语言文件, 本文采用 Java 语言, 网格服务是用满足一定要求的 Java 类来实现, 所有的网格服务都必须继承 GridServiceImpl 这个基类。它是通常的框架类, 因为它包含了所有网格服务共有的基本功能, 然后实现 WSDL 文档中定义的接口 (PortType)、操作(Operation)、绑定(Binding)等具体内容, 并编译为 Class。

实现了服务后, 需要对服务进行部署。部署描述器(Deployent Descriptor)是部署阶段的关键部分。这个文件告诉 Web 服务器如何发布我们的网格服务, 部署描述器使用 WSDD(Web Service Deployment Descriptor)格式进行描述, 此时资源类文件就编译成 JAR 文件, 部署到网格容器中, 就实现了服务的发布。网格容器会根据该服务所在地址、端口以及部署的位置等信息, 为其分配一个全球唯一的网格服务标识符(Grid Service Handle, GSH), 一般为 URI。此时制造资源就描述和封装为网格服务, 并支持网格服务的发现和创建。

4.3 设备资源的服务接口实现

4.3.1 设备资源的注册

资源如果需要在网格环境下得到使用, 首先应该将其属性信息注册, 以一

个快速成型设备为型，如图 4-2 所示，在注册界面中中输入其属性信息。

制造资源注册

- ▶ 资源注册
- ▶ 资源发布
- ▶ 资源查询
- ▶ 资源访问
- ▶ 联系我们

资源名称:	SST768
所在单位:	成都敬行科技公司
生产厂家:	美国 ZCorp 公司
仪器简介:	根据 CAD 数据创建实体
几何特征:	2000kg
扫描方式:	振镜式动态聚焦
成型精度:	0.2mm/200mm
文件输入:	STL
成型结果:	高分子材料

图 4-2 资源注册界面

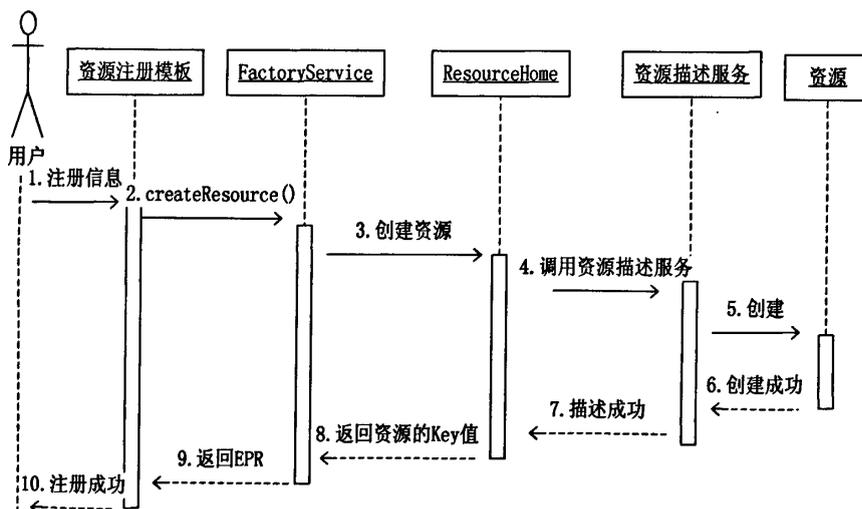


图 4-3 资源的注册时序图

如图 4-3 所示，首先在网页上注册资源信息，即输入其属性信息，当实现注册的 JSP 页面注册完成后，客户端会给 FactoryService 发出创建资源消息，ResourceHome 是管理资源的类，当接到创建消息时，会调用描述服务用 WSDL 文件格式描述并创建资源，并将其部署到网格容器中。资源部署完成后，会自动添加到 ResourceHome 类中，并返回资源的端点引用，用于可以通过网格门

户看到注册成功消息，此时便完成了资源的在网格环境下的注册。

4.3.2 设备服务的发布

制造资源在网格中注册完后，部署到网格容器中并转化为网格服务，但此时的服务并不能被外界所访问，必须要到注册服务中心登记，才能对外界发布，从而供用户使用。

所有的网格服务都必须登记，才能被添加到分类服务仓库 Service Node 中保存，并分配一个全球唯一的标识符 GSH(Grid Service Handle)，目前采用 URL 的方式来表示，从而实现服务定位。同时，可以把网格服务发布到统一描述、发现和集成注册中心 UDDI，UDDI 使得可以在其中发布和搜索商业伙伴的业务及它们的网格服务。当服务发布完成后，外界可以看到服务的信息，如图 4-4 所示。

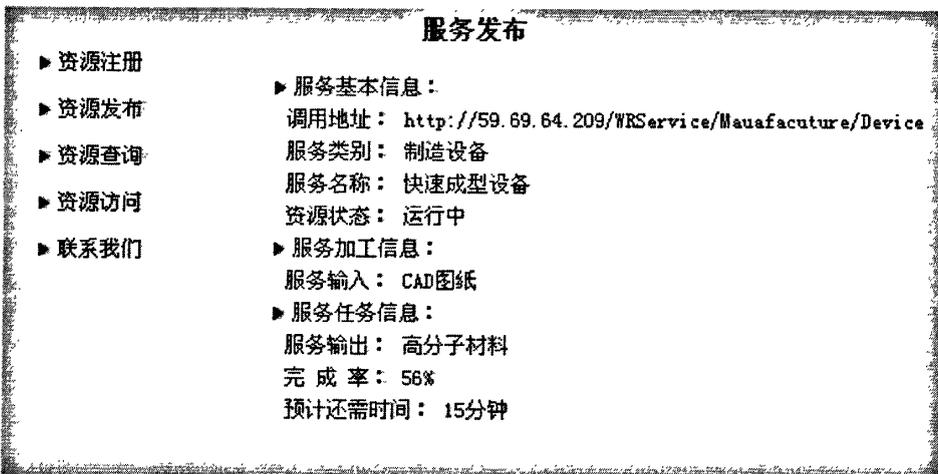


图 4-4 资源发布界面

4.3.3 设备资源的访问和调用

设备资源通过注册界面，注册了设备资源的属性信息，通过网格化封装，而成为网格服务，然后发布在 UDDI 中心，使外界可以对服务进行访问，这样，就完成了设备资源的 WSRF 封装，此时可以用现有的实体对象来保存网格应用同 Web 服务交互时产生的状态信息，从而屏蔽了资源的异构性，使资源和 Web 服务绑定在一起，通过 Web 服务可以透明的操作 JAVA 对象使资源的状态发生变化，完成相应的制造任务。

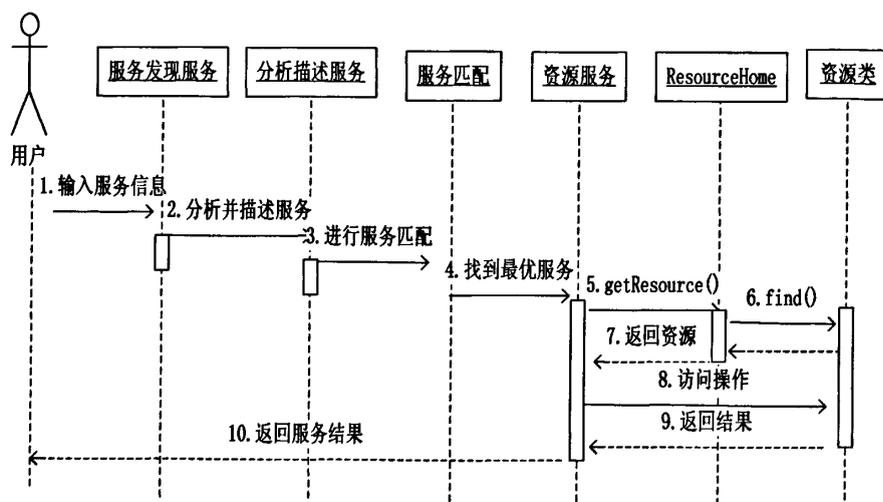


图 4-5 资源的访问调用时序图

如图 4-5 所示，首先，用户根据其实际需要在网格门户中选择相应的资源，输入服务信息，指明请求服务要求，然后发现服务结合描述服务会对服务信息进行分析，结合任务的解决方案分割成不同的逻辑服务，逻辑服务可以通过一定的匹配算法找出具有优先次序的物理服务集合，从而找到最优的物理服务，资源服务会通过 ResourceHome 查找到对应的资源实现类并返回，资源服务可以通过有操作接口对资源的实现类进行操作，从而实现资源的访问和调用，最后资源服务返回服务结果给用户，使用户知道访问成功。

4.4 本章小结

本章结合实际生产首先对制造网格中的设备资源进行了需求分析，然后对设备资源进行了分类，并分析了设备资源的常见的属性信息，包括基本信息、加工信息和任务信息，以及资源的常用操作接口，研究了用 WSDL 文件描述设备资源的过程，通过实现和部署，将设备资源转化为服务，最后研究了服务的发布、访问和调用过程，实现了设备资源的网格化服务封装。

第 5 章 总结与展望

5.1 全文工作总结

随着经济全球化和计算机网络技术的发展,跨行业、跨区域的制造企业间的资源共享、协同与合作的范围不断地扩大,需要企业在网络化制造模式的管理下,快速的发现合作伙伴,通过动态联盟,实现企业间的资源共享和优化配置。制造网格可以将分散在全球范围内的闲散资源和优势资源封装成具有统一访问接口的透明的资源服务,使企业能快速敏捷的响应市场需求,满足企业的资源共享的需要。如何分布的、异构的、多样的和自治的制造资源描述并封装为网格服务,是制造网格要解决的一个重要问题。本文以制造资源为研究对象,对其建模技术、描述机制和服务化封装进行了深入的研究,主要工作如下:

(1) 提出了基于网格的制造资源模型。分析了制造网格系统中制造资源的特点,并根据其在制造活动中发挥的作用,对制造资源进行了分类,建立了资源的层次分类模型,然后分析了制造资源的属性信息,并将其分为基本属性、加工属性和任务属性,建立了资源的属性模型,采用面向对象的统一建模语言 UML 的类图描述了表示制造资源信息的数据对象之间的关系,提出了制造网格环境下的制造资源 UML 图。

(2) 研究了制造资源的基于 XML 格式的描述方法。结合网络化制造环境,将资源信息分成标识信息、决策信息和属性集信息,从而统一的表示成一个三元组的形式,便于资源的选择和发现,然后结合 XML 格式描述了制造资源,并结合实例进行了说明。

(3) 研究了制造资源的服务化封装方法。通过建模、XML 描述以及 Web 服务的结合将有状态的资源封装成符合 WSRF 规范的 WS-资源,实现了资源的物理化封装,并研究了其创建和调用过程,使服务与外界通过接口进行交互;然后提出了物理服务转化为逻辑服务的算法,使用户能根据业务需求,直观的选择和重组逻辑服务,逻辑服务也能找到合适的具有优先次序的物理服务集,使服务和资源分离,当动态变化的资源失效时不会影响应用的执行。最后结合设备资源的实际需求,研究了设备资源的属性结构和接口,实现了设备资源的

服务化封装。

5.2 未来研究展望

制造网格作为基于网络的制造资源集成和共享的基础设施，其中涉及的理论、方法和关键技术众多，本文仅是在制造网格的体系结构、资源的建模和描述、资源的服务化封装等方面展开了较为深入的研究，并通过实验验证了其合理性和有效性。然而制造网格还是一个新兴领域，其研究目前还处于起步阶段，无论是理论研究和应用都远未成熟，本文工作的广度和深度也尚有许多待进一步完善之处，还需要在以下几个方面作进一步的研究：

(1) 进一步细化制造资源的模型和完善描述方法。资源表述的精确与否，直接关系到资源发现的精确度。本文只是在宏观上对资源进行了抽象，没有对其进行细化，还可以针对每类资源进行具体的建模，并定义其描述模板，建立一个适用广泛的模型库，完善制造资源的描述，更精确更结合实际的表示资源。

(2) 需要引入制造资源封装过程中安全认证机制。制造网格中的资源对每个用户来说其访问权限并不是平等的，资源在使用前，应该要有一个权限识别的过程，确定什么样的用户可以访问它，什么样的用户可以使用它，因此需要建立更加方便、使用的安全模型，另外还要提出适合制造领域应用的信任、授权机制，在对资源进行封装时，必须要考虑到资源的安全性因素，是网格服务能识别用户的权限，在合理的操作范围内执行制造生产工作。

(3) 进一步的完善和探索制造网格资源服务化封装的理论和技術，对资源的信息访问接口进行更深入的研究和设计，当资源接收到制造任务时，通过发现接口为每一个子任务找到能完成它的制造网格服务，再通过合成和调用接口对服务进行组合，通过远程监控接口控制服务的执行过程，从而在没有人干预的情况下完成特定的制造任务。

参考文献

- [1] 周祖德, 李刚炎. 数字制造的现状与发展. 中国机械工程, 2002.13(6): 531~533
- [2] 朱晓红, 陈春平. 制造网格中制造资源描述机制研究. 计算机技术与发展, 2006.9(16): 56~58
- [3] 张会福, 周祖德, 李方敏. 制造资源共享网格接口模型研究. 中国机械工程, 2005.16(5): 424~427
- [4] 周祖德, 余文勇, 陈幼平. 数字制造的概念与科学问题. 中国机械工程, 2001.12 (1): 100~104
- [5] 范玉顺, 张立晴, 刘博. 网络化制造与制造网络. 中国机械工程, 2004.15(19): 1733~1738
- [6] 王爱民, 范莉娅, 肖田元, 范文慧. 面向制造网格的应用平台及虚拟企业建模研究. 机械工程学报, 2005.41(2): 176~181
- [7] 秦金磊, 朱有产, 李玉凯. 基于网格计算的关键技术研究. 计算机技术发展, 2006.16(11): 103~107
- [8] Lei Zhang, Weizheng Yuan, Wei Wang. Towards a Framework for Automatic Service Composition in Manufacturing Grid. Grid and Cooperative Computing - GCC 2005: 4th International Conference, 2005. 238~243
- [9] Yushun Fan, Dazhe Zhao, Liqin Zhang, Shuangxi Huang, Bo Liu. Manufacturing Grid: Needs, Concept, and Architecture. Grid and Cooperative Computing: Second International Workshop, 2003. 653~656
- [10] D.J. Bradfield, J.X. Gao. A Methodology to Facilitate Knowledge Sharing in the New Product Development Process. International Journal of Production Research, 2007.4(7). 1489~1504
- [11] 戴建华, 蔡铭, 林兰芬等. 面向网络化制造的ASP服务平台若干关键技术研究. 计算机集成制造, 2005.11(1): 48~52
- [12] LIU Li-lan, YU Tao, CAO Hong-wu. Research on Management and Scheduling System in Manufacturing Grid. Mechanical Science and Technology, 2004.10(23): 1230~1232
- [13] 颜波, 黄必清, 郑力, 肖田元. 网格现状及其在制造业中的应用. 计算机集成制造系统, 2004.10(9): 1021-1030
- [14] 胡业发, 陶飞, 周祖德. 制造网格资源服务Trust-QoS评估及其应用. 机械工程学报, 2007.43(12): 19-27

- [15] 胡业发, 陶飞, 丁毓峰, 盛步云, 李永锋, 周祖德. 支持协同制造的制造网格平台研究. 中国机械工程, 2006.9(17): 1903~1907
- [16] Domenico Talia. The Open Grid Services Architecture: where the grid meets the Web. Internet Computing, IEEE, 2002,11(6): 67~71
- [17] 卢国明, 孙世新. 数据网格资源协同分配问题研究. 系统工程与电子技术, 2006.28(1): 110~114
- [18] 刘保国, 刘新. 基于网格的资源共享系统研究. 制造业自动化, 2007.29(8): 33~36
- [19] 梁英, 虎嵩林, 李厚福. 面向网络化制造的网格应用平台及其核心技术研究. 计算机研究与发展, 2004.41(12): 2060~2064
- [20] 施战备, 俞涛, 刘丽兰. 制造网格及其资源配置算法. 计算机工程, 2004.30(5): 117~119
- [21] TAO Fei, HU Ye-fa, DING Yu-feng. Resources publication and discovery in manufacturing grid. Journal of Zhejiang University(Science), 2006.7(10): 1676~1682
- [22] Antonioletti M., Atkinson M.P. The Design and Implementation of Grid Database Service in OGSA-DAI. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2005.17(2): 357~376
- [23] Pu J., Zhu Y.L. Research on applications of grid technology in the agile virtual enterprise. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005.7(11): 1019~1024
- [24] 石胜友. 制造网格资源管理与配置关键技术研究. [博士学位论文]. 西安: 西北工业大学航空宇航制造工程, 2007
- [25] Xie S.Q, Tu Ying.L. Rapid one-of-a-kind product development. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006.5(27):421~430
- [26] 武蕾. 制造网格中资源虚拟化方法研究与应用. [硕士学位论文]. 山东大学计算机科学与理论, 2008
- [27] 顾杰. 制造网格中资源选择优化及其实现. [硕士学位论文]. 南京: 东南大学系统工程, 2006
- [28] 陶飞. 制造网格资源服务优化配置理论与应用研究. [博士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学机械设计及理论, 2008
- [29] 盛步云, 李永峰, 丁毓峰等. 制造网格中制造资源的建模. 中国机械工程, 2006.13(17): 1375~1380
- [30] 殷杰, 王跃宣, 吴澄. 网格服务建模分析. 微电子学与计算机, 2006.23(10): 15~17
- [31] 易明, 金海. 基于WSRF的Web服务资源的设计. 计算机工程, 2006.32(23): 262~264
- [32] Wang G.Q., Wang G., Lu M.. Method of manufacturing resource sharing for grid-based ASP platform. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2007.13(2):350~355
- [33] Ye.N. Information infrastructure of engineering collaboration in a distributed virtual enterprise. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2002.3(15):265~273

- [34] Ye Z.L., Qi G.N., Gu X.J., Bao Z.G. A cooperative process-management system based on the manufacturing grid. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2007.20(2): 244~253
- [35] Zhang H.F., Zhou Z.D., Li F.M. Research on interface model of manufacturing resource sharing grid. *China Mechanical Engineering*, 2005.5(16): 424~427
- [36] 黄艳丽. 面向制造网络的制造资源封装机理的研究. [硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学机械电子工程, 2007
- [37] 田翠华, 常桂然, 郑秀颖等. 基于WSRF的交通信息服务网格研究. *微电子学与计算机*, 2006.23(1): 105~107
- [38] 井浩, 张璟, 李军怀. 基于WSRF的网络化制造资源Web服务封装的研究. *计算机工程与应用*, 2007.15(43): 22~25
- [39] Zhuge H. A knowledge grid model and platform for global knowledge sharing. *Expert Systems with Applications*, 2002.22(4): 313~320
- [40] Zhou Z.D. and Li G.Y.. On State and Development of Digital Manufacturing, *China Mechanical Engineering*, 2002.13(6): 531~533
- [41] 郭晓辉, 张璟, 李军怀. 制造网格环境下异构数据共享技术研究. *计算机应用研究*, 2006.1(3): 216~218
- [42] 张浩, 江建军, 刘继光. 基于WSRF的网络实验平台的设计与实现. *计算机工程与应用*, 2007.43(4): 160~163
- [43] 井浩, 张璟. 基于WSRF的制造网格资源共享机制研究. *微电子学与计算机*, 2007.24(7): 13~19
- [44] 曹红武, 俞涛, 刘丽兰. 制造网格中的资源调度系统研究. *制造业自动化*, 2004.26(5): 41~46
- [45] 李妮, 郑宏涛, 彭晓源等. 仿真网格中协同建模网格服务研究及实现. *计算机集成制造系统*, 2007.13(9): 1686~1689
- [46] 叶作亮. 基于制造网络的制造资源管理若干关键技术研究. [博士学位论文]. 浙江大学机械制造及其自动化, 2006

致 谢

在三年的研究生学习期间，我得到了导师刘泉教授的热情的教诲，她严谨求实的治学态度，敏锐的科学洞察力，丰富的知识与经验，前瞻开阔的科学视野，深厚的专业素养和诲人不倦的风范，培养了我独立开展工作的科研能力和创新精神，使我受益匪浅。

感谢信息工程学院的全体老师在我学习期间给予我的帮助和关心，感谢所有教过我的任课老师。感谢教研室的艾青松、唐兵、李景松博士，刘东、苏勇、李广、李俊萍、王欢、胡英等同学，在我的研究过程中给了我莫大的帮助。

感谢我的父母和我所有的亲人，学业的完成离不开他们的支持、鼓励和无私的奉献，在此，表示衷心感谢。

让我再一次向所有关心、支持和帮助过我的人表示真诚的谢意。

攻读硕士学位期间发表的论文

发表的论文:

- [1] 刘泉, 王耀. 网格环境下制造资源的描述和封装机理研究. 武汉理工大学学报, 2009.31(9): 114~117