

# 制造网格及其体系结构与关键技术

叶作亮<sup>1,2</sup> 顾新建<sup>2</sup>

(西南财经大学现代物流研究所 成都 610074)<sup>1</sup> (浙江大学现代制造工程研究所 杭州 310027)<sup>2</sup>

**摘要** 通过分析网格相关技术、制造网格国内外研究现状,对制造网格和网络化制造若干方面进行了对比,提出了制造网格的内涵,并对其在狭义和广义两个方面进行了详细阐述,进而提出狭义制造网格体系结构,指明了其中若干关键问题;论述了基于制造网格的三类制造资源的获取、集成和共享的原理和方法。最后指出了制造网格当前研究存在的问题。

**关键词** 制造网格,制造网格定义,制造网格体系结构,网络化制造,制造网格资源管理

**中图法分类号** TP391 **文献标识码** A

## Manufacturing Grid: Definition, Architecture and Key Technologies

YE Zuo-liang<sup>1,2</sup> GU Xin-jian<sup>2</sup>

(Institute of Contemporary Logistics, Southwest Univ. of Finance and Economics, Chengdu 610074, China)<sup>1</sup>

(Institute of Manufacturing Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Through analyzing Grid technology, the progress and future of Networked manufacturing, and the advance of Manufacturing grid (MG) study, the definition of MG was proposed and the meaning was described in detail, the architecture of MG was built and key issues were presented. Then three type manufacturing resources—information resource, software resource and Part-library resource—were discussed from acquisition, integration and sharing. Finally, the main problem was pointed out in current study.

**Keywords** Manufacturing grid, Manufacturing grid definition, Manufacturing grid architecture, Networked manufacturing, Manufacturing grid resource management

明确制造网格的内涵是制造网格研究的基础性工作,它对制造网格研究起着理论指导、系统定位和范围界定等重要作用。但是目前尚没有明确的制造网格的定义,也缺少深入的研究。在发展相对成熟的通用网格和计算网格,许多学者在重要的学术期刊和会议上论述了其定义和内涵,为今后的研究和发展指明了方向,如 Ian Foster 对网格技术的剖析,前后进行多次定义<sup>[1]</sup>。所以本文结合网格技术和制造网格的研究成果,对制造网格的内涵、体系结构和关键技术进行探讨,进而研究基于制造网格的3类制造资源的获取、集成和共享的原理和方法。

本文第1节通过论述网格的定义、制造网格的国内外研究现状,给出狭义和广义制造网格的内涵;第2节论述制造网格体系结构及其主要内容、制造网格涉及的关键技术;第3节以3种典型制造资源为例,研究制造网格资源获取、封装、集成与共享的实现方式和技术特点;最后对全文进行了总结。

## 1 制造网格的内涵

### 1.1 网络的定义和内涵

网络是借鉴电力网(Electric power grid)的概念提出来的,希望网络上的资源能够像电和水一样方便地获取,实现即

插即用。网格技术突破了计算能力、地理位置的限制,打破了传统的共享和协作的模式。表1是从不同角度对网格的理解及其表达的意义。

表1 不同观点下对网格的理解及其表达的意义

观点	意义
下一代 Internet <sup>[2]</sup>	强调网格的重要性和未来的意义
在动态的、多个部门或者复杂虚拟组织内,灵活、安全地协同资源共享与问题求解 <sup>[3]</sup>	强调网格必须具备动态、协同资源共享的特点
方便资源管理、支持分布的、多领域问题解决的中间件系统 <sup>[4]</sup>	强调网格的实际应用
分布式科学计算环境的一种一体化的集成方法 <sup>[5]</sup>	强调的是主要用于科学计算的网格所应该具备的特点
无缝的、集成的计算与协作环境 <sup>[6]</sup>	强调即插即用式的计算资源集成
基于硬件支持的各种服务和功能的提供者 <sup>[7,8]</sup>	强调以服务的形式使用资源

虽然什么是网格至今尚无一致认可的定义,但目前普遍认为开放式网格服务架构(Open Grid Service Architecture, OGSA)和融合了 Web 服务的 Web 服务资源框架(Web Service Resource Framework, WSRF)代表了网格最新的发展方向。

到稿日期:2008-04-28 本文受国家自然科学基金(60374057, 70501026), 国家 863 计划项目(2006AA04Z157), 教育部人文社科项目(07JC630018)资助。

叶作亮(1975-),男,博士,主要从事工业工程、供应链管理、复杂网络等方面研究,E-mail:yezuoliang@163.com。

## 1.2 制造网格的内涵

### 1.2.1 国外的相关研究

剑桥大学提出 Grid Manufacturing<sup>[14]</sup>是满足一个或者多个商务需求,动态生成各种重要的制造能力和资源,实现分布式事务和信息管理的技術,其关键元素是性能、连接、互操作。

利物浦<sup>[15]</sup>大学在“商务网格和智能供应链研究”中提出在动态、多虚拟组织下的资源共享和协同问题求解;按需地、普适地访问计算、数据和服务,从分布式、透明的服务中构建新的功能。

德国希根综合大学在“面向虚拟样机的网格技术:未来制造业之基础设施”中提出了 E-Grid 软件构架,如图 1 所示。希根大学 Manfred 教授发现德国 99%的企业属于中小企业,这些企业不需要一个国家范围的网格,而是需要一个便于接入的面向企业功能的网格系统。

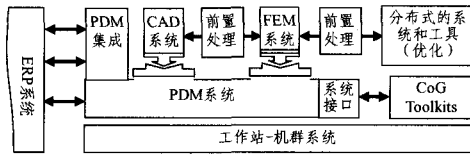


图 1 面向虚拟样机的 E-Grid 软件构架<sup>[16]</sup>

牛津大学<sup>[17]</sup>在基于智能代理的复杂动态网络的研究中,分别讨论了制造网格涉及的技术问题、社会和网络问题、工程问题,制造网格需要的基础设施、制造网格中的信息流和货物流,制造服务的廉价、可靠、快速、高效、可预测、调度和非调度的结合等问题。

### 1.2.2 国内的相关研究

范玉顺等认为制造网格是基于先进的网格和计算机技术,通过网络将分散在不同企业和组织中的各种异构资源通过封装和集成,提供协同工作支持环境,为用户提供各种制造服务,实现企业间的商务、设计、制造和供应链协同<sup>[18]</sup>。

王爱民认为制造网格是建立在网格技术基础之上的面向制造的一种应用网格,网格技术为制造网格提供了基本的支撑,包括底层的通信协议、服务描述标准和服务发布标准等<sup>[19]</sup>。李睿认为制造网格是在分析制造业行业特点的基础上,为了解决制造业的实际需求而提出的,是网格技术在制造业中的具体应用<sup>[20]</sup>。

刘丽兰等提出自组织制造网格和快速制造网格等概念<sup>[21]</sup>,在文献<sup>[22]</sup>中把制造网格定义为“在动态、分布和非集中控制的虚拟制造企业中,基于标准、开放协议的资源共享和协调工作,并提供非凡的服务质量”。刘丽兰同时强调制造网格的标准化<sup>[23,24]</sup>。

综上所述,制造网格和网络化制造从信息利用、服务模式、资源管理和系统集成等方面具有不同的视角,其对比关系如表 2 所列。

表 2 制造网格和网络化制造的比较

网络化制造	制造网格
制造业如何利用网络和信息技術	网络和信息技術如何改进,使之更好地支持制造业
网络化制造强调利用网络和信息技術,形成一个更加先进的制造系统	强调对制造资源的封装、发布,提高制造资源的网络化性能

网络化制造已经被认为是一种新的制造系统和制造模式	采用新的技术、思想对制造业网络的新构建。体现了标准化、高质量、动态地提供制造服务
网络化制造强调大范围的资源	制造网格目前强调单个资源的质量、可靠性
网络化制造向集成和资源共享发展	制造网格强调无缝集成、资源自治与共享

### 1.2.3 制造网格的内涵

对网格技术的发展及应用现状、制造网格的已有研究成果的分析表明,制造网格是网络化制造逐步发展的结果<sup>[27]</sup>,其内涵有狭义和广义之分。

#### 1) 狭义制造网格

网格技术尚在快速发展中,即便在研究时间最长、发展最快的计算网格领域,都只建立了在一定区域的网格系统。在业界,不管是 Oracle 还是 Sun 公司都是在一定范围建立了网格应用,所以要实现全球网格还需要很长时间的发展。因此,首先要在一定范围内建立制造网格,特别是对制造企业最关注的、核心的和易于实现的制造资源,建设早期的制造网格系统。针对一定范围内建立的、以解决特定的制造任务建立的网格称为狭义制造网格。

狭义制造网格是以先进的网格技术为基础,针对制造活动的特殊性和复杂性,将分散在不同企业和社会群体中的设计、制造、管理、信息、技术、智力和软件资源使用开放、标准的协议进行资源的封装、集成、共享及优化调度;通过服务的形式,企业以动态、透明的方式提供或使用这些制造资源;大规模的制造任务和制造服务在一种动态、可靠和协同的网格系统中进行优化配置,为接入制造网格的企业提供高质量的、按需提供的制造服务。

结合已有制造网格和网格技术的研究,对狭义制造网格的内涵阐述如下<sup>[26]</sup>:

(1)制造网格必须充分借鉴已有网格技术的研究成果,尽可能地把制造业中通用的活动,使用较为成熟的网格技术进行管理。如制造业中大量数据库系统,可采用 OGSA-DAI 或数据网格进行管理;文件系统可以采用基于 LDAP 的技术进行管理。

(2)制造活动的人机交互十分频繁,要求多人员的可视化互操作;部分制造活动涉及长达数月的周期;企业的客户信息大量地分散在网络的各个系统中;许多制造资源不完全在线。这些都增加制造网格的复杂性,所以制造网格对这些复杂活动要有针对性的研究。

(3)专业化分工使制造业呈现分散化制造的情况,这使得制造网格既要确保企业的独立自治性,又要保证这些企业的资源可以动态地集成共享。制造网格不需要了解企业内部的异构、异质的情况,但是要求加入制造网格的所有资源都需要使用开放的、标准的协议进行封装。而目前基础网格本身的许多标准化工作还在研究中,但以 Web 服务为基础的一些协议已经得到 W3C 组织的推荐。

(4)融合了 Web 服务的网格向 SOA 的模式发展,UDDI 和资源代理(Broker)将在网格资源管理方面起到极其重要的作用。达到一定规模之后,制造网格的资源集成和共享也在很大程度上以资源代理的方式进行调度。代理将在制造网格中起到越来越重要的作用。

(5)制造网格中,企业既在享用网格服务,也提供网格服务。在制造网格中,企业请求和停止制造服务、提供和推出制

造服务都是高度自动化、透明、高效和低成本的。

(6)制造网格中将对制造服务的质量、可靠性、效率等诸多问题进行管理,确保系统的服务高效率运行。

目前的研究主要是制造网格在某一特定环节的研究和应用,尚没有一个完整的制造网格系统。但是制造网格在关键环节的研究应用和关键技术的突破对制造网格的发展极其重要。

## 2) 广义制造网格

广义的制造网格与网格技术和互联网技术本身的发展密切相关,广义的制造网格将在网络的虚拟世界和现实的物理世界保持良好的一致性。

广义的制造网格是建立在新的网络基础设施上,制造资源在物理上高速连接,在应用系统上实现普遍的访问接入和无缝的集成;制造网格结点资源将具有重设置、重编程的能力,使得资源具有动态适应、自我管理、自我修复等先进功能;资源代理为资源的使用中介,P2P和B/S、C/S都将作为重要的资源使用方式;大规模复杂的资源使用问题得到解决,以语义实现资源的定位更加有利于实现制造网格资源的获取;制造网格中的在线和离线资源得到更加高效和可靠的管理,制造信息和实物资源得到一致的优化和调度使用;拥有核心资源和高质量服务能力将成为制造企业赢得竞争的重要因素;最终是实现全球制造资源的融合和虚拟化,制造资源将像获取水和电一样方便和透明。

广义制造网格的内涵阐述如下<sup>[1]</sup>。

(1)IP的直接定位,网络的高速连接。广义的制造网格将是融合在全球网格环境中的一种崭新的制造模式,互联网本身已经发生了巨大的变化,例如IPv6将普遍地取代IPv4,它将支持 $10^{38}$ 个地址,除去用于管理划分和为以后的服务预留的地址外,地球上每平方米拥有 $10^{18}$ 个地址,安全和健壮性也在IPv6最开始的设计中就得到考虑。在这种情况下,制造网格中的每台设备,甚至设备上的每一个部件、工厂生产的每个产品,都可能具有IP地址。而连接这些资源的链路将是Gb/s或者Tb/s的网络容量,PC将不再是制造网格的最主要的结点资源<sup>[27]</sup>。

(2)制造系统普适、无缝的集成。制造网格的规模将变得巨大,但是在复杂网络上连接和通讯的仍然是少数的核心协议。制造网格将使用这些开放的核心协议,建立便于发现、具有自我描述的结点资源。屏蔽资源的异构和异质,实现无缝集成和普遍的接入访问。普适性使得制造网格具有充分的兼容和互操作能力,如在制造网格结点Gb/s的连接链路中,对于只有kb/s级的某些低带宽的设备一样可以向下兼容,而不会使这些设备和高带宽的设备相孤立。普适性和无缝集成使制造网格更加虚拟化,越来越多的制造活动将取代实际的物理上的操作而在网格系统中直接完成。

(3)制造网格中的资源都得到良好的封装,使其具有动态调节、自我管理、自动定价、自我修复等先进功能。以资源代理为中介的资源使用。

(4)广泛的语义支持实现更高的自动化和智能制造网格应用,更多的服务将以P2P的方式实现,以避免海量制造资源爆炸性增长。

(5)制造网格中的实物资源和信息资源将保持严格一致,甚至一些实物资源和信息资源本身就是一体的。例如工厂的

产品附着具有自我描述的RFID标签信息,其信息甚至是可以重设置或编程,这样产品在整个生命周期中的实物状态和网格中的信息状态将保持良好的 consistency。

制造网格试图把全世界所有的企业连接成为实时交换信息的有机整体。任何一家工厂都可以知道自己的商品每时每刻在全球的销售情况,它的计算机会自动向所有的供货商发出原料订单,从而极其精准地安排生产,避免原料浪费和产品积压,实现全社会的精确生产。

狭义的制造网格主要以GGF倡导的OGSA及其系列标准为基础,广义的制造网格以众多的下一代互联网技术为基础。不可否认,广义制造网格只是根据网格当前发展做出的一种预见性质的定义。广义制造网格和狭义制造网格不是一种分类下的两种类型,而是制造网格在不同范围和不同发展时期的表现,所以狭义制造网格和广义制造网格是紧密相关的。

## 2 制造网格体系结构和关键技术

### 2.1 狭义制造网格体系结构

根据网格的5层沙漏模型,结合OGSA架构给出狭义制造网格体系结构(Special Manufacturing Grid Architecture, SMGA)。如图2所示,SMGA主要分为两部分:左边是6层结构,包括构造层、连接层、资源层、汇聚层、应用层及其制造网格门户。SMGA吸取了OGSA以网格服务为中心的思想,并把成熟的通用网格组件集成到系统中,如Globus服务。这样实现对分散化、自治的制造资源通过SMGA形成便于制造企业按需使用的制造网格资源。SMGA右边部分展示了OGSA核心组件在SMGA层次结构中的对应关系<sup>[1]</sup>。

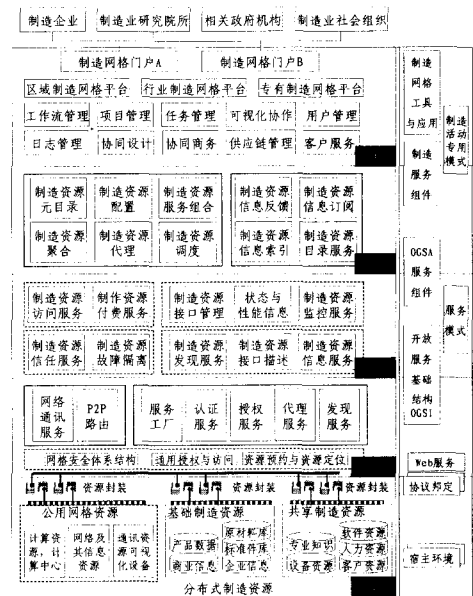


图2 狭义制造网格体系结构 SMGA

OGSA建立了一种面向服务的体系结构,把网格提供的一切功能都抽象为网格服务。网格服务有3个核心组件:OGSA服务、开放网络服务基础设施(OGSI)和服务模式。OGSI为分布式系统定义了基本的构造块,如认证、监控、服务描述和发现、生命周期管理等。但OGSI还缺少建立大系统需要的许多组件。以目前OGSA网格服务的定义,许多特定的制造活动实现服务封装还存在许多困难,所以SMGA需要

在 OGSA 架构下进一步研究,才可能支持制造网格的应用<sup>[25]</sup>。下面是对 SMGA 的进一步阐述。

#### • 构造层

制造网格服务节点的建设具有重要意义,是制约网格技术从计算应用领域向服务信息领域扩展的瓶颈。在网格技术应用成熟的计算网格中,资源节点主要包括 CPU、内存、网络、数据库等计算机资源,而在制造业领域,资源包括各种软件,如 UGII、AutoCAD 等,以及仪器和设备,如快速成型、数控设备、加工中心等。SMGA 中的构造层和通用网格构造层有相似的功能和意义,它们由物理上通过网络连接、经过信息化的分散资源构成。主要包括:计算资源:如由 PC 组成的集群系统、CAD 工作站和超级计算机系统;网络资源:实现资源相互连接的网络基础设施,包括 LAN、有线网络、无线通信系统等;基础制造资源:以行业或地域为特点的制造资源,包括数据和标准、通用零部件库、产品数据、设备、原材料、企业信息等;共享资源库:在一定范围和组织内提供共享的资源,如企业集群或者虚拟企业之间共享的客户、设备、软件资源,企业和科研院所之间共享的人力资源、专业知识、专业咨询服务等。

制造资源要接入制造网格,需要实现资源封装和接口预留。对资源的封装需要满足网格的基本要求,如资源定位、描述和预约等。

#### • 连接层

SMGA 中的连接层实现构造层分散资源间相互通信及网络安全保障,使得不同宿主环境下异构资源在不同安全策略之间可以安全便利地通讯。连接层定义了通信和认证核心协议,这些通信协议使得构造层资源之间能够进行数据交换。认证服务建立在通信服务基础之上,提供用于校验和资源身份密钥安全的服务。

在连接层,SMGA 主要使用通用网格的基础服务,它们属于 OGSI 核心服务。连接层安全性的复杂性使得制造网格的安全解决方案既要充分考虑本地安全策略,同时要在网格系统框架下建立统一安全机制。可以采用以下的解决方案:

单一登录:用户仅一次认证,而不必为访问每一个资源或管理域都“登录”;委托:一个用户能够赋予一个程序来代表他的运行能力,以便于该程序能够访问授权该用户访问的资源;本地安全方案的集成:在异构系统中,每个资源提供者都可以利用本地中的任何安全方案,网络安全方案必须能和不同的本地方案进行互操作。

网络通信服务:在底层的通信网络资源基础上,向上层提供基本的网络与通信服务,实现资源的沟通;数据发现服务:提供最基本的数据发现功能,为上层提供资源发现的接口;认证、授权和代理服务:在 GSI 和 GAA 的支持下实现资源的安全访问控制和代理功能<sup>[28]</sup>。

#### • 资源层

实现资源、信息、数据等的统一,使资源查询与使用有标准的接口和行为,并对其进行有效管理。资源层实现的是对单个资源的建设和管理,包括资源的安全协商、初始化、监控、记账和付费等协议。

制造资源的信息管理包括静态信息、动态可靠性以及信任、注册等管理。制造资源任务管理具有处理资源结点的任务接收、转换、任务提交等工作。制造资源服务节点封装采用

Web 服务描述语言进行资源服务接口的定义,将制造资源封装为服务。

制造资源访问服务:如在 GRAM 的基础上实现对基础制造资源和共享数据资源的访问服务;计算资源访问服务:在连接层数据发现服务基础上实现资源访问功能;系统结构访问、状态与性能信息服务:这两个服务提供整个系统基础结构的访问以及运行状态和性能的信息。

#### • 汇聚层

汇聚层收集资源层提供的单个资源,协调多种资源的共享,实现制造网格中需要的各种基本服务功能。主要包括:

目录服务允许网格用户发现存在的资源和资源特性,允许用户根据名字和类型、可用性等属性查询资源。协同分配和调度允许使用者为了特定的目的请求分配一个或多个资源,并且在合适的资源上进行任务调度。这类似于计算网格中的 Conder-G 和 DRM 代理。监控和诊断服务支持监视 SMGA 中的资源,以防止失败、恶意攻击、入侵等。

汇聚层同样要解决安全、策略和记账问题。如特许区域制造网格中可以采用社区授权服务增强资源访问策略。特许某组织内的成员访问特定网格资源,这些服务在资源层信息、管理协议及连接层安全协议的基础上构造一个全局策略增强服务。另外也可以建立集群性质的区域制造网格,在汇聚层实现记账和付费服务,收集使用者信息建立信誉服务,采用信誉、记账和支付来支持或者限制对网格内资源的使用。

制造网格通用服务是指在资源层以及网格通用平台,如 Globus 提供的汇聚层支持基础上,实现网络化制造所需求的通用服务,如信用认证、UDDI 注册、 workflow、资源调度、系统监控、消息管理与事务管理等服务。

#### • 应用层

应用层建立在汇聚层提供的制造网格通用服务的基础上,提供给制造网格系统的具体应用服务。在通用服务平台的基础上开展基于制造网格的各种实用技术,如 workflow 技术、项目管理技术、产品协同设计、协同商务、动态联盟管理等。

制造网格在各个层次都需要借鉴通用网格的思想与技术,但是制造网格的研究关键不在通用网格技术上。所以,撇开通用网格的资源描述、注册、调度和安全等关键技术,制造网格的关键技术呈现不同特点。

## 2.2 制造网格关键技术

### 2.2.1 制造网格的体系结构

OGSA 体系结构得到了主要研究组织和越来越多商业组织的支持,已成为网格事实上的标准<sup>[9]</sup>。制造网格应该基于 OGSA 的体系结构,需要重点研究以下关键问题:①建立制造网格体系结构的基本规范,作为其原型系统实现的指导依据;②建立符合制造网格体系结构的原型系统,创建制造活动需要的基本模块;③定义可支持大部分基本制造活动的核心协议;④基本制造服务模式、基本服务组件和应用模块的参考实现。

### 2.2.2 资源建模与调度

由于制造资源极其多样化,制造资源模型比计算网格资源描述模型具有更加丰富的内容。因此,①制造网格资源模型需要支持对资源的自动分类;②很多制造资源并非一直是在线的,制造网格要有效地管理这些资源,需要建立制造资源的离线和半在线属性;③制造网格下的资源建模要能够支持

动态调度,如计算网格用带宽来描述资源的访问性能,制造资源的地理信息,即物理距离也是制造资源建模的重要元素;④虽然网格服务已经考虑了可持续性,但制造资源的持续性服务往往比通用网格服务时间长得多,所以制造资源模型需要支持对其进行有效管理;⑤制造资源模型需要满足在产品的不断迁移中,产品信息甚至零部件信息在产品全生命周期中的可追溯问题等复杂要求。

在充分考虑以上资源建模的情况下,制造网格资源调度应在充分考虑地理、产品生命周期、企业协作关系、资源与任务自动分类等关键因素的基础上,充分利用已有的网格调度算法,研究多领域、分布式、长时间的制造网格资源调度算法。

### 2.2.3 资源封装和信息的有序化

制造网格要使分布无序的资源信息组织起来,并使它们相互融合,发挥比单个资源大得多的作用,形成一个自组织的系统。所以资源的封装和有序化是关键技术,制造网格要提供制造资源封装和互联的环境,而资源的快速搜索、分类和选择还取决于资源信息有序化。资源信息的有序化的难点是:制造网格中的企业是独立的和分散的,资源的发布是自主进行的,而资源信息有序化工作的性质是集中的、按统一标准进行的,例如 UDDI 标准。

1) 制造网格使用统一的、开放的技术,对各种资源进行标准化封装,对封装接口提供各种描述机制,便于资源的发现、集成和共享,而且需要在企业间方便地实现这一过程。

2) 制造网格资源的良好封装,可以高度地虚拟化,用户可以透明地使用其资源,简化资源使用,同时也使资源便于动态地组合、集成。

3) 制造网格资源高度的自治化。制造网格虽然封装良好,虚拟化程度高,但是制造网格强调资源的自治管理,资源在本地管理和维护。其关键是需要建立一套适应资源本地安全和管理策略的机制,可以支持这种自治管理。

4) 建立制造网格资源有序化的健全机制。资源调度和优化在制造网格中将是普遍存在的,资源的服务质量、付费、性能监控都将得到保证。

制造网格资源的封装与有序化是在保障支持制造活动基础上的自治与集中的统一。

### 2.2.4 复杂集成与企业间协作问题

制造活动的特点决定了制造网格集成的复杂性和企业间的多方协作问题。制造网格中的企业分工与协作将更加密切,实现异构环境中大规模、动态、实时的企业间集成与协作是项极其复杂的关键技术。其中既有技术复杂性,也有商业企业的博弈关系,它们有着不同的安全策略和企业利益,而且在协作中有着竞争和博弈的过程。所以制造网格需要提供支持企业集成与协作的关键技术。

### 2.2.5 对已有资源的封装与利用

在网络化制造下积累了大量的资源、技术与方法,开发了各种应用工具。它们在制造网格环境下通过一定的封装与扩展,将得到更好的应用。如把 workflow 技术扩展为面向服务的工作流系统,使得可以在企业间建立工作流协同系统。典型的如在德国的“E-Grid”框架,它试图把网络化制造中的应用系统使用网格技术有效地集成来发挥更大的效益和价值。所以对已有资源的网格化使用,是制造网格研究中的关键技术。

## 3 基于制造网格的三类制造资源管理

为了具体研究制造网格体系结构中的资源获取、封装、集成与共享,建立如图 3 所示的制造网格资源管理框架,以其中的 3 类制造资源作为研究对象。针对不同的制造资源,研究方法和实现技术的侧重点不同:客户信息资源侧重于信息获取技术,设计软件资源侧重于软件协同共享,零件库资源侧重于资源的封装和集成。针对制造网格中典型的资源开展相应的研究工作,以解决制造网格中的特定问题。

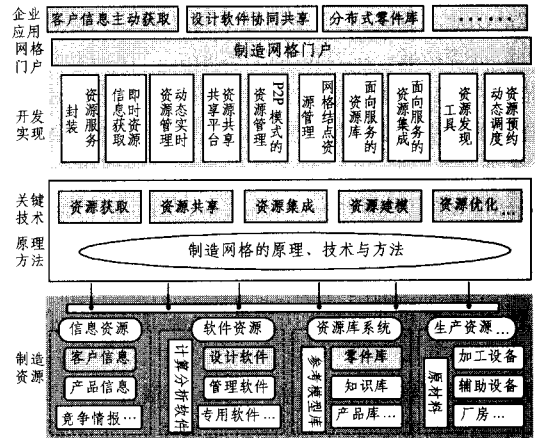


图 3 基于制造网格的制造资源管理框架

### 3.1 基于制造网格的信息资源获取

基于制造网格的信息资源管理和一般的信息资源管理相比,信息资源的管理范围更大、动态性更强、集成程度更高、可操作性更好。根据制造网格提供的技术支持,结合制造企业的实际,提出了基于制造网格的信息资源主动获取模式。

#### (1) 按需的信息获取

信息资源是当前网络上最丰富的资源,而制造企业和个人都不满足对大量一般信息的需要,而是要求直接得到最需要、最新的信息。这就要求制造网格对信息的来源进行有效的管理。如图 4 所示,制造网格对信息资源的管理需要实现对信息循环过程的支持。对于制造企业来说,外界的信息分散程度大、极端动态与异构;对于企业的客户来说,企业对他们提供的信息一视同仁,不理解客户的需求,不能够提供个性化的信息服务,这正是制造网格信息获取主要想解决的一个问题。

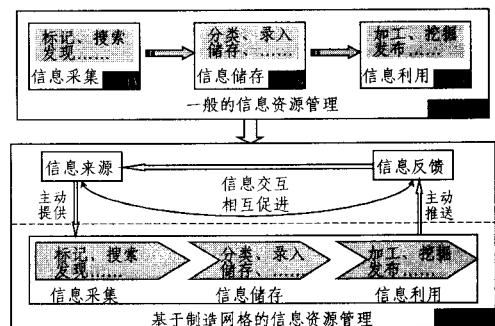


图 4 基于制造网格的信息资源管理

基于制造网格的信息管理主要思想是把产生和接受信息的工具作为制造网格的一个结点进行管理,支持按需的信息资源获取,如图 5 所示,制造网格通过对主动提供信息、及时

获取反馈的支持,以各种途径让企业和个人得到真正需要的信息,同时把自己发布的信息及时地提供给需要的人和组织,并得到反馈。

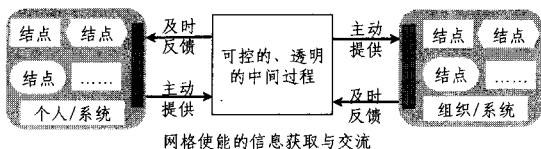


图5 基于制造网格的信息获取

### (2) 动态的信息获取

制造企业的信息资源动态性主要有:①信息空间动态性。分散性大,散布在网络不同地方,获取完整的信息困难;②信息时间动态性。时效性快,而信息越及时、准确,其价值就越大,部分信息没有及时获取,极易流失;③信息的不确定性。如很多信息是客户随意而发,隐性信息多,客户有着众多隐性的需求,它们需要和企业相关人员的双向交流,在企业人员的引导下才能够表述其需求信息;④信息载体的动态性。如不同客户喜欢用不同的系统和方式表达信息,甚至同一个客户在不同时间也会选择不同的方式,所以基于制造网格的信息获取需要适应这种不确定的变化,具有动态响应的能力。

基于制造网格的信息主动获取主要采用集成化、一体化和交互化来解决其中复杂的动态性。①集成化:多种信息交流方式集成,如 BBS、手机短信和 Email 等,信息管理和企业应用系统相互集成,各种业务活动和信息获取相集成;②一体化:是指信息获取和信息反馈、信息服务的一体化。如在客户服务中获得客户信息,在客户信息获取中提供客户服务;③交互化:通过双向交流,甚至是多人之间的交流,可以产生更多高质量的信息,如采用这种方式,一些客户的隐性的需求信息很容易表达出来。

### (3) 自治的信息获取

在制造网格的信息交流中,在什么时间、使用什么方式、选择何种通讯工具,制造网格中的参与者都是完全自治的。基于制造网格的信息资源主动获取需要提供相应的支持,实现企业对客户需求的快速响应。

## 3.2 基于制造网格的软件资源共享

制造业信息化的过程中,企业出现了大量软件,如设计软件、管理软件和系统软件等。其中一些软件是专用的,如财务软件,而更多软件可以通用共享,典型的如设计软件。企业中存在大量的设计软件,它们种类繁多,运行于不同的系统和平台,异构程度严重。基于制造网格的软件资源共享主要对制造企业的设计软件共享提供支持,跨越不同系统,实现各种设计软件充分共享。如图 6 所示,基于制造网格的软件资源共享包括对软件资源的集成、共享和共享中的协同。

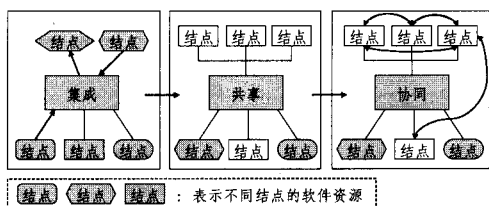


图6 基于制造网格的软件资源共享

### (1) 软件资源集成

基于制造网格的软件资源集成有以下特点:①动态性。在网上的任何计算机可以随时加入和退出网格系统,网格系统不受影响;②屏蔽异构性。网格结点运行于不同系统平台,要支持跨平台的操作,不同软件资源需要一种通用的方法进行集成;③自治性和虚拟化。软件资源本身还是保留在网格结点本地,自治地管理和维护,而网格系统提供一个整体的、虚拟化的软件资源。

### (2) 软件资源共享

不同软件资源共享有不同的要求,在设计软件资源共享中,由于需要与软件进行可视化的交互操作,共享过程中用户需要像本地一样使用异地提供的软件资源,在使用模式、远程控制、安全性和性能方面需要较高的支持。

### (3) 软件资源共享中的协同

制造网格中经常会遇到多个结点使用一个共享的软件进行协同工作,特别是在设计软件共享中。基于制造网格的软件资源共享需要提供对多方协同的支持。如图 6 所示,当多个结点协同使用某个软件时,制造网格将提供同步和异步的协同,支持点对点的交流,控制权限的协商和转移。

### (4) 通过软件资源共享实现更大范围的资源共享

通过软件资源共享的可视化远程控制、视频传输等功能,可以带动更大范围的制造资源共享。如图 7 所示,生物仪器、数字化装备等资源的共享是通过软件资源共享实现的。

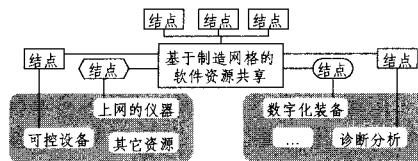


图7 通过软件共享实现其它资源的共享

基于制造网格的软件资源共享中的共享技术可以采用虚拟网络计算的方式实现,其集成与协作技术需要制造网格技术的支持。

## 3.3 基于制造网格的资源库集成

基于制造网格的资源库共享要改变以往资源大集中的方式,因为这种方式面临几个问题:①设备庞大,资源的集中管理需要足够大、足够快的计算设备支持,其成本非常高昂,难以适应资源的快速增长;②实时更新困难,很难保证数据的时效性;③中心设备负载大,系统容错性能差,中心设备出现故障可能导致整个系统瘫痪;④还会遇到部门、行业、地域之间的信息壁垒和网络堵塞的障碍。

基于制造网格的资源库如图 8 所示,采用分布式集成的方法,各个异构的企业资源库把用于共享的部分资源进行封装,可以采用虚拟的或部分资源迁移的方式进行集成。由于对资源良好的封装,使得资源库在使用的时候对用户是透明的。基于制造网格的资源库管理主要有以下特点:

(1)资源分散存储在各个结点,每个结点提供有限的资源服务,几个结点的失效不会影响其它资源的使用;

(2)使用良好的封装,以服务的方式提供共享,确保了集成平台的长期适应性、伸缩性和互操作性、普遍和可靠的访问方式以及广泛的应用支持;

(3)资源本地管理和维护,避免资源大集中;资源自治和系统整体协调统一,即实现自治管理;

(4)使用面向服务的资源库封装具有标准接口,成本、风险都明显降低,使用更加安全可靠,管理方便,用户也可以得到更多更好的服务。

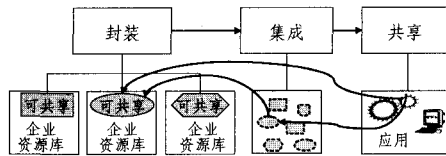


图8 基于制造网格的分布式资源库集成

在基于制造网格的资源库管理中以机械零件库为具体研究对象,其具有资源复杂、数据量大等特点。分布式零件库实现了制造网格中复杂资源的访问、共享和集成。分布式零件库分为企业零件库和集成零件库,企业零件库既是分布式零件库系统的一个松散耦合子系统,也可以是一个独立的Web零件库系统。分布式零件库采用标准化的服务进行制造资源的封装、发布、集成、共享。在面向Web服务的零件库系统中,对经过服务封装的零件库系统进行了虚拟的集成,但是用户在使用中并不会感到虚拟化带来的影响。

**结束语** 制造网格的内涵对明确制造网格的研究内容、系统定位和范围界定等起着指导性的作用。制造网格体系结构的建立为制造网格的系统开发、组织实施、企业应用提供了重要的参考,是研究制造网格的基础性工作。通过研究网络技术和在网络化制造发展的基础上,结合国内外对制造网格的研究进展,给出了狭义制造网格和广义的制造网格的内涵,并对其进行了论述。在此基础上提出了狭义制造网格体系结构,指出了其中的若干关键技术。最后以基于制造网格的信息资源获取、基于制造网格的软件资源共享和基于制造网格的资源库集成3个方面研究了制造网格资源管理的方式与特点,体现了制造网格中对资源的获取、集成、共享等方面的新的模式。

制造网格的研究还相当不成熟。当前制造网格研究的其它问题主要体现在:①对制造网格的认识不统一;②部分研究没有能够把握制造业的特点;③制造网格和相关技术的关联不明确;④关键技术和关键环节研究尚不够深入;⑤企业应用研究不足;⑥制造网格的标准化、规范化和商业化研究不足。另外,还需要相应的法制建设实现制造网格核心资源的保护。

### 参 考 文 献

[1] Foster I, Kesselman C. The Grid2: Blueprint for a New Computing Infrastructure [M]. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 1998

[2] 李国杰. 关于下一代网络的体系结构[J]. 中国工程科学, 2002, 4(8): 41-46

[3] Foster I, Kesselman C, Tuecke S. The Anatomy of the Grid; Enabling Scalable Virtual Organizations. International Supercomputer Applications, 2001, 15(3): 126-135

[4] Walker D W, Houstis E. Complex problem-solving environments for grid computing[J]. Future Generation Computer Systems, 2004: 476-493

[5] Miguel L, Bote-Lorenzo. Grid Characteristics and Uses; a Grid Definition[C]. LNCS 2970: 291-298

[6] M S, Clark D D. Rethinking the design of the internet; the end to end arguments vs. the brave new world [J]. ACM Trans on Internet Technology, 2001, 1(1): 70-109

[7] Berman F, Fox G C, Hey A J G. Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality[M]. Wiley, 2003

[8] Figueiredo R, Dinda P A, Fortes J A B. A case for grid computing on virtual machines[C]//Proc. of ICDCS. 2003, 4

[9] Czajkowski K, Ferguson D, Foster I, et al. WS-Resource framework. [EB/OL]http://www.globus.org/wsrfl/specs/ws-wsrfl.pdf, 2004-03-05

[10] 杨叔子, 吴波, 胡春华, 等. 网络化制造于企业集成[J]. 中国机械工程, 2000, 21: 45-48

[11] 张曙. 分散化网络制造[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999

[12] 刘飞, 刘军, 雷琦. 网络化制造的内涵及研究发展趋势//2002年中国机械工程学会年会议论文集[P]. 北京: 机械工业出版社, 2002

[13] 范玉顺. 网络化制造的内涵与关键技术问题[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(7): 576-582

[14] McFarlane D. Cambridge Supply Networks Activities. The Strategic and Operational Management of Manufacturing And Technology[M]. Fitzwilliam College, Cambridge, UK, 2005. 9

[15] Li Dong. Business Grid and Intelligent Supply Chains. e-Business Group Management[C]. LNCS 3170. 2004, 4

[16] Grauer M. Grid Technology for Virtual Prototyping as an Infrastructure in Future Manufacturing. Institute of Information Systems, University of Siegen. http://www-winfo.uni-siegen.de, 2002

[17] Efstathiou J. The Manufacturing Grid, CABDyN Workshop: 2005. 7. Oxford Univer. complex agent-based dynamic networks [EB/OL]. http://sbs-xnet.sbs.ox.ac.uk/complexity/complexity\_splash2003.asp

[18] 范玉顺, 刘飞, 祁国宁. 网络化制造系统及其应用实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003

[19] 王爱民, 范莉娅, 肖田元. 面向制造网格的应用平台及虚拟企业建模研究[J]. 机械工程学报, 2005, 41(2): 176-182

[20] 李睿, 俞涛, 方明伦. 制造网格系统可靠性管理研究与实现[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 11(3): 358-363

[21] 刘丽兰, 俞涛, 施战备, 等. 自组织制造网格及其任务调度算法[J]. 计算机集成制造系统—CIMS, 2003, 9(6): 449-456

[22] Liu Lilan, Yu Tao, Shi Zhanbei. Resource management framework for manufacturing grid[J]. Journal of Southeast University (English edition), 2004, 20(3): 346-51

[23] 刘丽兰, 俞涛, 施战备. 制造网格中基于服务质量的资源调度研究[J]. 计算机集成制造系统—CIMS, 2005, 11(4): 475-481

[24] 刘丽兰. 制造网格及其基于 QoS 的资源管理系统研究[D]. 上海大学, 2007

[25] 叶作亮, 顾新建. 制造网格—网格技术在制造业中的应用[J]. 中国机械工程, 2004. 15(19): 1717-1720

[26] Berman F, Fox G C, Hey A J G. Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality[M]. Wiley, 2003

[27] Bassi A, Beck M, Laganier J, et al. Enhancing grid capabilities: IBP over IPv6[J]. Future Generation Computer Systems, 2003: 132-141

[28] Globus 组织. [EB/OL]. http://www.globus.org, 2007