

网格技术及其在制造领域的应用

张立晴, 范玉顺
清华大学自动化系, 北京 100084

摘要: 本文简要介绍了网格的概念、组成, 及其具有的特征, 同时结合当前制造业的发展趋势, 对网格技术进行剖析, 将其与现有的一些技术作一比较, 并着重提出了网格技术在制造业中的几种应用模式和预期效果, 指出发展制造网格是先进制造技术的发展方向。

关键字: 网格计算、网络化制造、虚拟企业、资源管理、制造网格

1 引言

随着网格技术的蓬勃兴起, 网格的应用也越来越受到人们的关注。尤其当前信息产业、计算机产业发展迅猛, 更是为网格技术的应用与发展提供了良好的平台基础与发展空间。网格的本质特征是高性能的远程资源共享, 然而纵观网格的发展史, 现今的应用主要集中在高能物理试验、生物基因测序之类的高层科学研究方面, 这些运用的是网格聚集计算能力的特点, 网格的本质优势尚未得到充分的发挥。

更如今, 我国加入了 WTO, 我国的制造业进入经济全球化的国际大市场中, 面临着严峻的挑战, 只有加速制造业的信息化进程, 才能适应这个动态、竞争的时代。网络化制造正是制造业信息化的主要手段之一, 而恰好网格技术提供的支持和网络化制造系统的需求之间存在极强的吻合特性, 网格成为了开发满足网络化制造系统的最佳候选。

本文着重就网格技术在制造领域中的应用, 提出了自己的看法, 给出了基于虚拟企业的网格模式的基本体系结构, 以及该网格中资源管理、作业调度等的运作方式, 并指出先进制造技术的发展方向——制造网格。

2 网格简介

2.1 网格的概念

网格是构筑在 Internet 上的一组新兴技术, 它通过高速的共享网络连接地理上广泛分布的异构资源 (包括高速连接的异构计算机、数据库、科学仪器、文件和超级计算系统等), 用它们来协同解决那些通常需要许多 CPU 或存储器来处理、访问的单个问题^[1]。在形成的网格状的高性能计算网中, 各个资源就是网格的节点。

网格可分为计算型网格和访问型网格, 通过计算型网格, 用户可以使用到无限制的计算和数据资源, 访问型网格提供一组协同环境, 向用户提供资源和服务, 用户可以通过浏览器等访问网格。

2.2 网格的组成

网格具有统一的软件标准, 以及实现互操作的环境, 它的服务层能提供无缝的基础设施, 以形成用户希望的问题求解环境。具体说来, 网格的组成包括以下几部分^[2]:

- (1) **网格结构:** 包含地理上分布的可以通过Internet访问到的所有资源, 包括运行不同操作系统 (UNIX或者Windows) 的计算机、工作站、机群系统、存储设备、数据库等, 甚至是特殊的科学仪器, 比如热传感器等;
- (2) **核心网格中间件:** 提供实现网格计算的核心服务, 如远程过程管理、资源的协同分配、存储访问、信息安全、服务质量、资源的预定与交易等;
- (3) **用户级网格中间件:** 提供程序员开发网格应用及用户代理 (调度和管理基于全局资源的计算) 的高级服务功能, 包括语言、类库、应用编程接口、集成开发环境等;
- (4) **网格应用及入口:** 网格应用指的是利用网格使能语言 (如HPC++) 及网格工具开发的网格使能应用程序。网格入口提供Web使能的应用服务 (即用户可以通过Web接口实现相关任务到远程资源的提交及结果的收集)。

网格结构是网格系统的硬件基础, 实现的只是资源在物理上的连通, 各个资源之间在逻辑上仍然是孤立的。有了网格中间件, 才真正实现了广域资源的有效共享。中间件可以屏蔽下层结构的分布性和异构性, 向上层的网格应用层提供统一、透明的使用接口。

2.3 网格的特征

网络最主要的特征是资源共享（而不是它的规模），由此，网络必须具有的特点是：单一的映像空间，可以屏蔽硬件边界，实现透明的远程资源访问，消除资源孤岛；支持多管理域以及站点自治，保证各资源的相对独立性；支持高效安全与容错，保证所有资源提供方在整个系统中的安全与保密；动态灵活性，保证网络资源的动态扩展及撤出。

现在，将 Internet 与网络做一个系统的比较，可以看出以下几个重要区别：

(1) 网络是建筑于 Internet 之上：网络并不是 Internet 的替代品，而是 Internet、高性能计算机、数据源三种技术的有机结合和发展。

(2) 网络比 Internet 具有更高性能：网络上有更多高性能计算机，并且网络的体系结构将比 Internet 更能有效地利用资源，因此网络的计算速度、数据处理速度可以大幅度提高。

(3) 网络具有 Internet 所没有的知识生产特性：Internet 本身不创造或生产知识，人们都是先把知识用其他方式生产出来以后，再“放到网上”，供用户查找。网络则能根据用户的要求自动地生产知识，在知识生产的过程中，高性能计算机把从数据源得到的原始数据，运行特定的程序加工成知识。

(4) 网络将比 Internet 更一体化：为了便于使用，网络不应该像 Internet 那样，提供几百万个网站，让用户去费尽心思寻找合适的地方。在逻辑上，网络应该就像一台机器。

2.4 网络研究与应用的发展现状

由于网络是 Internet 发展的高级形式，它可以连接广域范围内不同标准的异构“孤岛”，形成庞大的全球性计算体系，因此受到世界各国和组织的高度重视。已经发展了许多的论坛、实验环境和研究项目，其中较有代表性的研究项目及组织包括美国的 Globus 项目、日本的 Ninf 项目、澳大利亚的 GridSim 项目等等。

与网络技术研究热潮相对应的是，众多 IT 跨国巨头跃跃欲试，纷纷公布自己以研究网络相关商业产品为核心的网络计划，甚至是已经开发的管理网络计算的硬件和软件。例如：Sun 公司发布了其企业版网络引擎软件，并与在分布式计算领域中享有极高声誉的开放源代码软件标准组织 Globus 组建了联盟；European Community 赞助了一个高能物理、地球观测和生物应用的网络计算，正在实现一些网络计算的原型；还有，以美国能源部及 NASA 等政府研发机构为中心的科研组开发的以 Globus 为基础推动的 Grid Computing 项目等。

3 网络技术在制造领域的应用研究

现有阶段，网络应用的主体基本上停留于聚集分散计算能力的方面，这些应用都更侧重于科学研究领域，而在其他行业，比如商业、甚至工业中，却极少见到网络应用的成果。网络的应用潜力尚未被充分挖掘。而在研究过程中我们发现，网络技术所提供的支持恰恰和网络化制造系统的需求之间存在极强的吻合特性。

下文，我们就将结合当前制造业的发展趋势，给出一种基于虚拟企业的网络模式的基本体系结构，以及该网络中资源管理、作业调度等的运作方式。

3.1 网络技术与网络化制造

网络化制造的内涵是利用网络，特别是 Internet，跨越不同企业之间存在的空间差距，通过企业之间的信息集成、业务过程集成、资源共享，对企业开展异地协同的设计制造、网上营销、供应链管理等提供技术支撑环境和手段。

然而，在现有的制造企业中，企业过程变得越来越复杂，往往包括多个组织、多个部门中的许多个活动，并且这些活动还经常随着时间的推移，或任务的进度动态地作变化；不仅如此，用户与企业资源（数据库、文档等）之间又没有单一的入口，企业信息冗余情况严重，总数据量呈指数倍增长。以航空业为例，我们知道，在电脑上进行飞机设计的时候，所有的零件，包括最小的螺丝钉，都是三维的，这样，最后的飞机模型，数据量大概会达到 2GB 到 5GB。在电脑上进行预装的时候，这样一个庞大的数据量，运算相当复杂，有时候只要飞机换一个角度，计算机就要花上三五分钟的时间，而现有的计算技术对此常常显得心有余而力不足。如果能利用某种新技术，解决这个海量计算的难点，会让整个设计速度加快数倍，从而让航空业的发展向前跨越一大步。

幸运的是，网络超高性能的计算能力可以以普通高性能计算机运转速度的百倍，甚至千倍，来快速运行需要大型数据库的应用，并通过共享广域范围内资源促进资源利用，减少冗余。例如，如果一个分布在中国各地的工程小组要设计一种新型的飞机，那么这些工程师需要和各地的部件供应厂商、质量监督机构等等打交道。在 Internet 普及之前，人们通过邮

政局寄送技术文档，非常耗时。有了 Internet，工程师之间可以用电子邮件送文档，互相回答问题。到了网格阶段，它给人们创造了一个虚拟的协同工作空间。大家可以从自己的桌面工作站上实时地看到这架飞机的全设计过程，可以在本地模拟飞机的操作，评价它的性能，修改设计等等。表 1 是我们对网格技术与网络化制造所做的比较结果，可见网格将是满足网络化制造系统的最佳候选。

| | 网格技术 | 网络化制造 |
|------|-----------------------|------------------------|
| 资源种类 | 分布式的计算资源、信息资源、贵重设备等 | 分布式的制造资源、设计资源、物流和信息资源等 |
| 技术需求 | Service, ASP(注), 封装技术 | Service, ASP, 封装技术 |
| 服务需求 | 点播服务 | 点播服务 |
| 评价标准 | 资源优化调度 | 资源优化调度 |

表 1 网格技术与网络化制造的比较

(注)：ASP 是 Application Service Provider 的简写，从字面上直译是应用服务提供商，实际上的全称应该是计算机商业应用系统服务提供商，是指通过在互联网络上配置、租赁和管理商业应用服务解决方案，为商业和个人顾客提供应用系统服务的公司。后文中还会提到一个 SSP，它是 Storage Service Provider 的简写，指的是存储服务提供商，与 ASP 的区别只在于两者提供的服务种类不同，ASP 提供的是应用，而 SSP 提供的是存储服务。

现有的网络化制造技术无外乎指的是“虚拟企业”、“供需链系统”、“动态联盟”等相似的概念，网格应用于某一方，在其余方面也可以类似地推广。因此，我们将主要针对虚拟企业，提出网格技术在网络化制造的应用模式。

3.2 虚拟企业及其现有技术

我们知道，传统虚拟企业的成员在联盟中只提供自己的核心能力，一旦产品或项目寿命期结束，则成员自动解散或重组开始新一轮动态组合过程。这种仅限于各企业核心能力的资源整合，从技术角度来讲是一种浪费，特别是在协作成本增加，管理困难的现状下。

更何况，如今瞬息万变的市场需求，导致许多产品的设计环节变得越来越重要，设计的质量、速度要求不断提升，这对虚拟企业提出了更高的资源共享及协作要求。

然而，现有的技术，如 Internet、B2B、ASP/SSP、Java、CORBA、DCE（开放组织研究的分布式计算环境）等，虽然可以做到一定程度的资源共享，却要么在共享配置的灵活性上、要么在共享资源种类上、或者是共享的性能方面不能完全满足其企业共享的需要。例如，Internet 技术侧重于计算机之间的通讯和信息交换而不支持多个站点之间的、集成的资源协作利用方法；B2B 交换在目前仍侧重于信息共享；ASP/SSP 允许组织对外部提供存储或处理能力，但是方法非常有限；而 CORBA 以及企业版的 Java 等的企业分布式计算技术又只能在小范围或者单个组织内共享资源；DCE 虽然支持跨站点的、安全的资源共享，但是大多数虚拟企业用户都觉得它不仅麻烦，而且非常笨拙不灵活^[3]。

3.3 网格技术在虚拟企业中的应用

我们提出的基于虚拟企业的网格模式，并不试图取代现有技术，而是希望对原有的分布式计算技术的功能进行辅助和补充，在现有技术之上建立更高层次的共享。

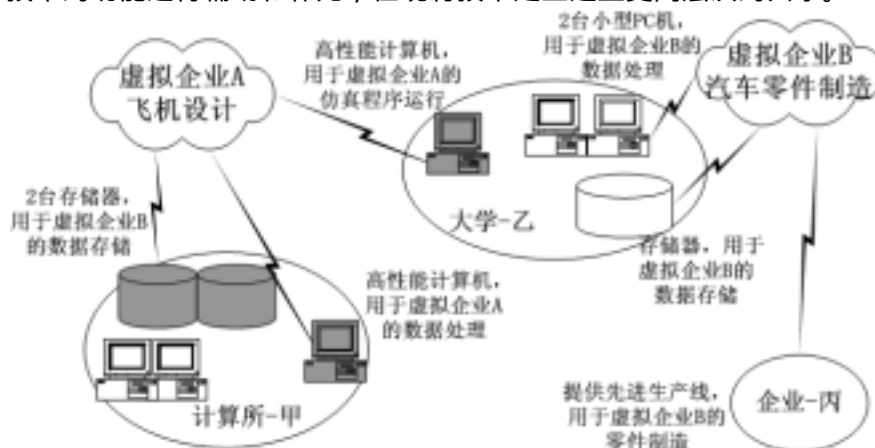


图 1 网格虚拟企业

为了能充分说明网格虚拟企业的特点，我们举一个具体的，运用网格技术的虚拟企业的例子（如图 1 所示），并对其中涉及到的资源管理、安全认证等问题作一个详细的分析。例子中涉及两个虚拟企业 A 和 B，其中 A 的项目是飞机设计，B 的项目是汽车零件制造；还有三个实体企业/组织甲（某计算所）、乙（某大学）、丙（某企业）。

各个实体之间都由高速以太网进行物理上的连接，而在物理链路层之上，我们运用 Internet 协议进行逻辑上的连通，并辅之以网格中间件。网格节点是各实体中的计算资源（包括高性能计算机、小型 PC 等）、制造资源（数控机床、生产流水线的控制机等）、存储资源（存储设备以及数据库）、软件资源（各种专用软件），等。

虚拟企业 A 中，各实体协作完成飞机的设计，由于涉及到设计环节，并且飞机的结构复杂，设计非常严格，因此，使用甲的高性能计算机来处理。原始数据以及由计算产生的数据都存放在甲拥有的资料数据库中，需要时通过高速网络对其进行读出或存储。此外，由于该任务需要用到的仿真软件非常昂贵，只有乙大学购置了，于是虚拟企业 A 通过向乙发出共享资源请求，来获得专用仿真软件的使用。

虚拟企业 B 中，各实体协作完成的任务是汽车零件制造。由于丙企业地理位置特殊，周边的矿产比较丰富，加上它有较先进的生产线，由它来负责主要的零件生产与制造；而此时，乙则需提供出数据处理与存储的能力。

值得注意的是，网格虚拟企业中的共享已经不再是简单的文件交换了，它包含有计算资源、存储资源、制造资源等的远程访问与使用。例中包括各实体中的高性能计算机、小型 PC 机、数据库、数控机床、生产流水线的控制机等。

同时，一个实体企业可以参与多个虚拟企业，共享的资源也可以是自己的部分或全部资源。例如上例中，乙同时参与了两个虚拟企业。它的高性能计算机，在虚拟企业 A 中，作为高性能数据处理机来使用，而它的 2 台小型 PC 机和存储器则被虚拟企业 B 使用，用来进行数据处理及存储。

此外，运用了网格技术后的虚拟企业，将与现有的虚拟企业有本质上的不同。传统虚拟企业的成员必须是企业性质的，而当网格技术引用进来时，虚拟企业的成员已经不是单个的实际企业，或企业部门了，而是一个个具体的计算机、存储器之类的资源节点，并且这些资源节点可能属于某个单独的企业，可能属于某家研究机构，甚至也有可能属于某个私人。使用时，我们不用考虑该成员节点原先是从从事于什么行业，只要它在网格上，并且满足资源申请方的限制条件，它就可以加入该虚拟企业，参与设计与制造。

可见，基于网格的虚拟企业可以使资源在广域范围内实现十分灵活的共享。

3.4 基于虚拟企业的网格模式

我们提出的虚拟企业的网格体系结构，主要分为网络请求代理、网络中间件层与网络资源域三个部分，整个网格对外部虚拟企业用户提供标准接口，其基本体系结构见图2。

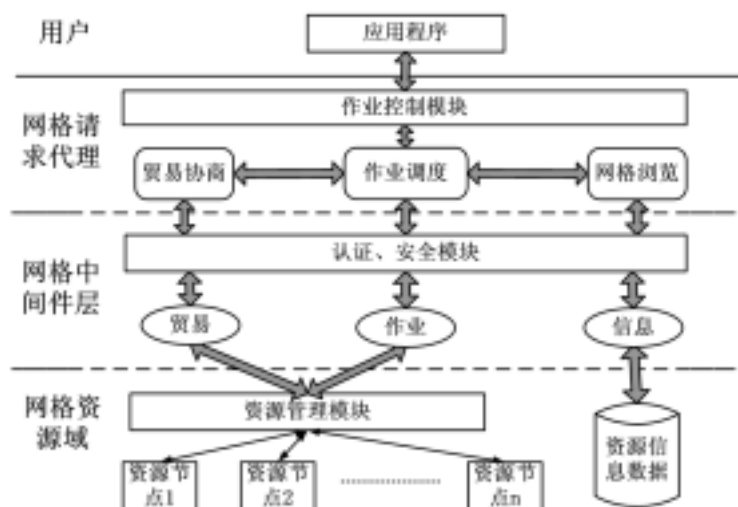


图 2 基于虚拟企业的网格模式的基本体系结构

网络请求代理是整个网格上所有资源的统筹管理者，对全局资源进行统一的管理和分

配，并通过中间件层提供的服务，将用户和网络上的资源联合起来。

中间件层包括认证和安全服务、信息服务、贸易服务、作业服务等。认证和安全服务模块对客户提供认证访问的功能，同时保证用户作业在资源提供方安全运行；信息服务动态收集各个资源节点的信息，并反映到全局数据库中；贸易服务提供网络请求代理和资源域内节点协商价格的功能。

网络资源域负责本节点域的创建、属性的收集，并动态监测、调度本地资源，且及时地将本地网络资源的信息传送给中间件的信息服务模块，此外，负责接收从网络请求代理提交的任务并根据其特点进行处理机的分配。

在这个网络系统中，不存在全局控制的调度系统，因此每个节点的地位是平等的。这样，网络具有很强的可扩展性和容错能力，系统内任何一个节点发生故障都不会对整个系统造成太大影响。而对于网络的资源节点，它们必须首先向网络请求代理提出加入网络资源提供方的申请，获得网络请求代理的确认后，才能成为网络上的一个节点。

3.4.1 网络虚拟企业中的资源管理

网络虚拟企业中的资源管理主要包括计算资源、存储资源以及数控生产设备等资源的发布、发现和调度。由于这些资源在地理上是广泛分布的，而且资源之间存在巨大的异构性，网络资源管理的实现好坏，直接决定了网络系统的性能优劣。这里，我们具体以作业提交和作业调度两部分作详细说明：

(1) 作业提交

首先，用户向网络请求代理提交作业任务（如生产发动机的某零件），作业控制模块接收到用户的作业及其要求（如零件数量、零件规格、交货截止期等）后，形成作业调度参数，并将作业提交给作业调度模块。与此同时，网络浏览器通过网络中间件的信息服务获得资源节点的信息，贸易服务模块通过中间件与资源节点协商价格问题，两者分别将自己的结果反馈给作业调度模块。作业调度模块便根据作业的参数、性质以及各节点的负载情况、通信状况进行粗粒度调度，并把作业调度到合适的资源节点上运行。在运行过程中，作业调度模块必须随时把资源运行节点反馈的作业状态或作业结果返回给作业控制模块；资源域的资源管理模块也必须对请求代理中的作业状态以及从本域节点发送来的信息，进行周期性的刷新，并且根据情况进行作业调整^[5]。

(2) 作业调度

作业调度是资源管理的另一个重要组成部分，其作用是根据当前系统负载状况，对系统内的作业进行动态优化调度，如何设计调度算法从而达到最优化是其关键。

为了更好地说明网络虚拟企业中的作业调度，我们假设网络上已有若干作业在运行。当资源管理模块接收到某新任务时，该任务被赋上优先级插入作业队列。守护进程查询节点列表，获取该域内所有节点的信息和负载情况，同时更新网络请求代理上全局数据库中相关的信息表，按照一定算法确定各节点的优先权，每次从最高优先权节点开始查询，选择合适的节点，并将作业队列首的任务分派到该节点上执行。而守护进程派生出相应的作业线程，周期性监视该作业的执行状态，并向上一级（网络请求代理）汇报，以便进行全局管理与调度。当任务途中异常中断或执行性能比预期要差时，网络请求代理可进行再次调度，重新安排其他资源继续或重新完成作业；而当任务完成时，网络请求代理会要求资源管理模块直接将作业结果返还给用户，或者等待用户的下一条运行指令^[5]。

3.4.2 网络虚拟企业中的数据处理

为了能够支持虚拟企业中异构平台的数据存储，在基于虚拟企业的网格体系中，首先将异构平台的数据特性抽象出来，构成元数据信息。元数据是异构节点之间信息相互转换的基础，网格根据元数据信息，可以设计一种算法，实现异构节点之间的数据格式转换。此外，为了实现透明的远程资源共享，网格在现行的操作系统之上建立虚拟目录^[4]，虚拟目录采用类似Unix文件系统的层次结构，程序的每次运行操作是通过登记机制与虚拟文件系统之间建立映射关系来完成的。

3.4.3 网络虚拟企业中的安全问题

安全问题包括鉴别、授权、加密等等。在以上的基于虚拟企业的网格系统中，由于所有节点的地位是平等的，因此在调度之前会有一个权限认证的过程，以确定该节点是否有权利访问远程的资源。因此，网格系统使用一种用户认证机制，为每一个用户建立一张访问权

限表^[4]，用户的访问权限由访问权限表来管理。这样，每个用户只能使用被认证的用户资源和公用资源，而禁止非法使用其它资源。经过注册的用户可以在网络上运行程序及共享资源，还可以作为网络上的一个计算节点；而非注册的用户则可以浏览网络上的部分信息，但不能提交运行程序。

3.4.4 网格虚拟企业中的记账与收费

在网格构成的虚拟企业中，服务、资源的使用等都不是免费的，不同的用户使用资源的费用也是不同的。这就需要有一个记账收费模块，来执行网格节点之间的付款问题。因此，必须构建一个能为所有的资源标定适当使用价格的方案，这样，可以将资源价格作为资源的一种属性参数，在任务寻找资源的时候，这个价格参数可以作为用户使用资源或不使用的一个参考条件。此外，从技术系统的价格模型角度看，必须包括资源计量、网络自动付款等功能，当然还得能及时向用户发出收费通知，并且保证各个用户或资源提供者的安全性。

3.5 网格在制造业其他方面的应用

除了虚拟企业以外，网格技术还可以应用在小型企业中，进行新产品的工业设计、工艺管理、影响测试，乃至生命周期预测，最终在计算机上将产品“制造”出来，也就是所谓的“虚拟制造”。例如，汽车制造厂商可以利用网格进行模型的模拟测试，从而取代原来的电路测试和风洞试验，降低企业的产品成本。

此外，网格技术还将提升电子商务到一个新的台阶，它把互联网上的资源整合成一台超级服务器后，可以有效地为电子商务提供内容服务、计算服务、存储服务 and 交易服务等。

现有的技术在这些方面已经为网格的应用打下了良好的基础。

4 网格在制造领域应用的预期效果

通过我们对制造业及网格技术的研究，我们认为网格技术应用于制造业后，第一，将增强国际间企业技术的互操作性，即国内的信息企业利用全球的生产体系，与远程的资源进行协同工作，并行开发出新产品，以适应市场的需求；第二，能够丰富 Web 服务中的交互模型，通过提供企业最需要的各种交互模型，把 Web 服务扩展到更广泛的商业运用中；第三，将完善企业间的产品协同服务，企业计算模式走向集成的、多层次的分布系统，实现各类服务组件跨地域、跨企业的动态实践过程；最后，形成制造网格。

这样的制造网格，能够在最大程度上实现设计、制造、信息、技术资源的共享，克服空间上的距离给不同企业间的协同带来的障碍，为实现敏捷制造和虚拟企业的运作提供支持，形成具有数字化、柔性化、敏捷化等基本特征的优势互补的协同企业。通过网络环境下企业间信息、过程、资源的集成，实现协同制造过程中物流、信息流、价值流的优化运行，使整个制造网格系统中的制造企业群体以较低的成本、较短的开发周期，制造出符合市场需求的高质量产品。可以断言，未来的企业将再也看不到实际的企业形式，所能看到的只是可以提供某种专门功能（计算、存储、铸造、装配等功能）的单元；或许将来，当个人需求单个的个性化产品时，只需要登陆网格，提出自己的需求，就能有一组功能单元通过网格进行协同工作，将单个产品生产出来，交付给用户，而用户只需要通过网格中间件提供的记账付款服务，分别交付给产品所需所有资源以及服务（原材料、设计、加工等）的使用费。

5 总结

毫无疑问，未来的制造业是网络化、全球化、虚拟化的，它的总体目标是要达到快速设计、快速制造、快速检测、快速响应和快速重组。当前，产品制造、销售的全球网络正在逐步形成，全球制造的体系结构也在形成的过程中，而网格正是可以达到所追求目标的一种新型的信息技术基础设施。网格技术虽然现在处于起步阶段，但是它所能带来的经济效益是不可估量的。我们相信基于网格的制造系统，在已有信息技术的支持下，必定能促进制造资源的跨地区跨国家的协调、共享和优化利用，推动全球制造的前进。

参考文献

- [1] Foster Ian、Kesselman Carl, *The Grid: Blueprint for a Future Computing Infrastructure*, Morgan Kaufmann 出版社, USA, 1999
- [2] Baker Mark、Buyya Rajkumar、Laforenza Domenico, *Grids and Grid Technologies for*

- Wide-Area Distributed Computing* , Software: Practice and Experience (SPE) Journal, Wiley Press, 2002 年 , 第 32 卷 , 第 15 期 ,
<<http://www.csse.monash.edu.au/~raj कुमार/papers/gridtech.pdf>>
- [3] Foster Ian、Kesselman Carl、Tuecke Steve , *The anatomy of the grid: Enabling scalable virtual organizations* , International Journal of Supercomputer Applications, 2001 年 , 第 15 卷 , 第 3 期 , 第 200 ~ 222 页
- [4] 桂小林, 钱德沛 (西安交通大学电子与信息工程学院), *基于 Internet 的网格计算模型研究*, 西安交通大学学报, 2001 年, 第 35 卷, 第 10 期, 第 1008 ~ 1011 页
- [5] 郑然, 李胜利, 金海 (华中科技大学计算机科学与技术学院), *网格资源管理与调度模型的研究*, 华中科技大学学报 (自然科学版), 2001 年, 第 29 卷, 第 12 期, 第 87 ~ 89 页

Grid Technologies and its Application in Manufacturing

Zhang Li-qing, Fan Yu-shun

(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract: This paper outlines the definition of Grid, its structure and characteristics first, then anatomizes the Grid technology by comparing it with some other existing technologies in relation to the trend of current manufacturing industry. In addition, this paper substantially brings forward some patterns of Grid applications in manufacturing, as well as the prospect. Finally, it points out that Manufacturing Grid is the direction in which advanced manufacturing technology is developing .

Key words: Grid computing, networked manufacturing, virtual enterprise, resource management, Manufacturing Grid