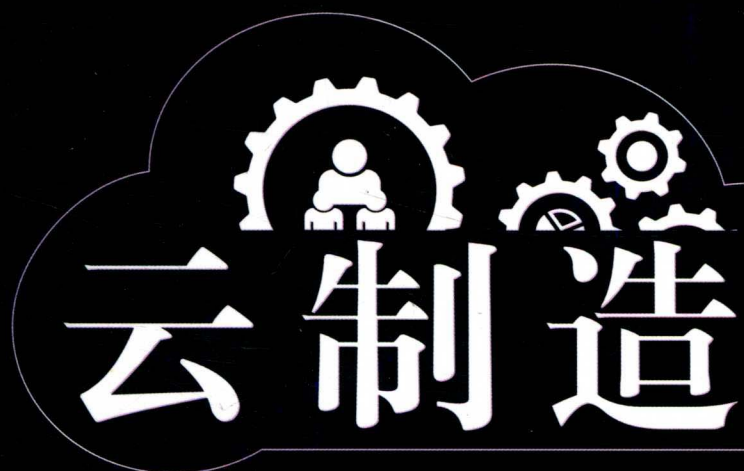


*Principle and Application of
Cloud manufacturing*



原理与应用

李春泉 尚玉玲 张明 著●



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

云制造原理与应用

李春泉 尚玉玲 张明 著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书系统、深入地介绍了云制造的基本原理、技术、系统与应用,主要内容涉及三个方面:云制造的基础理论及架构技术、云制造运行管理技术以及云制造应用技术。书中以云制造的概念、体系结构、虚拟化技术以及云端化技术为核心,论述了基础理论及底层构建,从云制造服务解析、云制造服务匹配、区分粒度的资源调度、多粒度弹性调度、多粒度访问控制等方面论述了云制造运行管理技术,从云打印应用、云制造平台框架与设计等方面论述了云制造应用技术。

本书适合于先进制造技术、制造业信息化技术方向的学术研究人员、科技人员及企业事业单位管理人员参考,也可用作高等院校计算机、机械制造、自动化、企业管理等专业的研究生和高年级本科生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

云制造原理与应用/李春泉,尚玉玲,张明著. —西安:西安电子科技大学出版社, 2016.8

ISBN 978-7-5606-4084-6

I. ① 云… II. ① 李… ② 尚… ③ 张… III. ① 计算机网络—应用—制造工业—研究 IV. ① F407.4-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 075087 号

策 划 陈 婷

责任编辑 陈 婷 刘志玲

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 <http://www.xduph.com> 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 13.5

字 数 313千字

印 数 1~1000册

定 价 28.00元

ISBN 978-7-5606-4084-6/F

XDUP 4376001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前言

网络技术的飞速发展和广泛应用,深刻地改变了人类社会的生产和生活方式。当前,“互联网+”已上升至我国的国家战略,云制造作为“互联网+制造业”的先进制造模式和手段,极大地改变了制造企业的制造、运作与管理模式,云制造是云时代在制造领域的体现和发展,是先进的信息技术、制造技术以及新兴物联网技术等的交叉融合,能够实现制造资源共享、协同工作、降低制造成本、提高资源利用率之目的,进而有效推动制造业信息化水平的快速发展。

云制造作为一种先进的制造理念和制造模式,覆盖了企业生产经营的所有活动和产品全生命周期的各个环节,以“按需服务”为核心,以资源虚拟化及多粒度、多尺度的访问控制为手段。云制造以资源共享及任务协同为目标,聚合分布、异构、多自治域的资源,通过网络为媒介,以透明、简捷、灵活的方式构建开放、动态的协同工作支持环境,提供通用、标准和规范的制造服务。云制造技术新、发展快,许多关键技术问题还处于探索阶段,目前尚未见到有全面系统讨论云制造的相关书籍,为此,本书作者在长期研究的基础上,结合研究中取得的成果,力图对云制造原理与应用进行较为全面的论述。

本书全面论述了云制造原理及其应用方面的相关技术与方法,共分为10章。第1章讨论了云制造的背景、国内外研究现状以及研究、应用的主要方面和意义。其余章节作为技术内容可以分为三大部分:第一部分(第2~4章),以云制造的基础理论、架构、底层构建技术为主,以云制造的概念、体系结构、虚拟化技术以及云端化技术为核心进行了研究与论述;第二部分(第5~7章),以云制造运行管理技术为主,对云制造服务解析、云制造服务匹配、区分粒度的资源调度、多粒度弹性调度、无约束及容量约束下的多粒度访问控制进行了研究与论述;第三部分(第8~9章),以云制造的应用为主,对云打印应用以及云制造平台框架与设计进行了研究与论述,为云制造的应用提供了实例及技术借鉴。

本书的主要技术内容汇集了桂林电子科技大学李春泉教授2008年以来指导的硕士生(王彦伟、胡春杨、朱攀峰、何汉钊、唐海波、张能等)的学位论文的部分成果,以及与江苏大学博士后导师杨平教授合作研究的成果。本书由李春泉主持撰写,尚玉玲参与了第2~5章内容的撰写与整理,张明参与了第6~9章内容的撰写和整理。部分在读研究生常钰河、刘丹、赵帅锋、王弘杨等参与书籍的排版、校对等工作。

本书汇集的部分科研成果是在国家自然科学基金“云制造环境下多粒度访问控制方法研究”(51165004)、广西制造系统与先进制造重点实验室主任基金“区分粒度的云制造服务自适应访问控制方法研究”(桂科能10-046-07_004)等资助下完成的。在研究过程中得到了美国北卡罗来纳州立大学 Yuanshin Lee 教授、江苏大学杨平教授、桂林电子科技大学

周德俭教授、上海大学刘丽兰教授、桂林理工大学刘电霆教授等同行的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平和经验有限，书中难免存在疏漏之处，恳请读者批评指正。

作 者
2016 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 云制造产生背景	1
1.1.1 网络化制造与制造网格	1
1.1.2 云计算到云制造	4
1.2 云制造的国内外研究现状	6
1.2.1 云计算技术	6
1.2.2 云制造概念与框架	7
1.2.3 云端化技术	8
1.2.4 云制造的语义解析	9
1.2.5 虚拟化技术	10
1.2.6 访问控制技术	10
1.2.7 多粒度及弹性调度技术	11
1.2.8 云打印技术	12
1.3 开展云制造研究与应用的意義	13
1.3.1 云制造研究与应用的主要方面	13
1.3.2 云制造研究与应用的意义	16
第 2 章 云制造概念及体系结构	17
2.1 云制造产生的理论基础	17
2.1.1 云制造系统的演化路径	17
2.1.2 云制造系统的演化动因及方程	18
2.2 云制造的概念与内涵	19
2.2.1 云制造的概念	19
2.2.2 云制造的内涵	20
2.2.3 云制造与现有模式的比较	21
2.3 云制造体系结构	22
2.3.1 云制造体系结构	22
2.3.2 云制造的核心特征	24
2.3.3 云制造中的关键技术	25
2.4 云制造的组织模式	26
2.4.1 云制造的角色	26
2.4.2 云制造的组织模型与租赁博弈	27

2.5 云制造的运行流程	30
2.5.1 云制造的运行机理	30
2.5.2 云制造的运行机制	31
2.5.3 云制造的运行流程	34
第 3 章 云制造资源虚拟化技术	37
3.1 引言	37
3.2 云制造资源虚拟化模型	37
3.3 云制造的资源模板及其描述技术	38
3.3.1 制造资源的分类	38
3.3.2 制造资源模板	39
3.3.3 基于 RDF 的云制造资源描述	41
3.4 基于模板的云制造资源服务化封装	42
3.4.1 资源封装模板	42
3.4.2 云制造资源封装实例分析	43
3.5 虚拟资源的发布与部署	45
3.6 云制造虚拟化实现技术	48
3.6.1 资源描述与服务化封装	48
3.6.2 云制造资源虚拟化功能及实现	50
第 4 章 云制造的资源云端化技术	52
4.1 引言	52
4.2 资源物联网络体系	52
4.2.1 Ad Hoc 网络	52
4.2.2 WLAN 网络	53
4.2.3 WSN 网络	55
4.2.4 无线 Mesh 网络	55
4.3 云制造资源的主要接入方法	56
4.3.1 物联网接入	56
4.3.2 嵌入式接入	57
4.3.3 PC 技术接入	57
4.4 基于 ZigBee 的云资源接入框架	58
4.4.1 资源物联层	58
4.4.2 资源监控层	58
4.4.3 资源接入层	59
4.5 基于 ZigBee 技术的云制造资源接入	59
4.5.1 基于 ZigBee 的设备资源地址分配	59
4.5.2 ZigBee 网络中的 AODVjr 算法	59
4.5.3 AODVjr 路由协议	60

4.5.4 改进 AODVjr 算法	61
4.5.5 仿真分析	63
4.6 云端接入技术的实现案例	66
4.6.1 云制造资源的硬件系统设计	66
4.6.2 PC 云端管理软件开发	73
4.6.3 底层平台 PC 接入云服务平台	77
第 5 章 云制造的服务解析及服务匹配技术	79
5.1 引言	79
5.2 云制造资源类型	79
5.2.1 云制造资源本体框架	79
5.2.2 基于语义的资源本体库	80
5.2.3 资源本体库映射	82
5.3 基于 Jean 推理机的客户需求分析解析	84
5.3.1 常见推理机	84
5.3.2 Jean 推理机	85
5.3.3 推理功能的实现	86
5.3.4 系统流程图	88
5.4 云制造资源服务匹配问题研究	88
5.4.1 云制造资源服务匹配相关问题	88
5.4.2 单资源服务等级匹配算法	89
5.4.3 聚合资源服务匹配算法	92
第 6 章 云制造资源调度技术	98
6.1 引言	98
6.2 基于等级划分的云制造动态资源调度技术研究	98
6.2.1 云制造资源调度框架	98
6.2.2 云制造资源调度算法	99
6.2.3 实验验证	101
6.3 区分粒度的云制造资源调度技术	102
6.3.1 云制造资源多粒度划分技术	102
6.3.2 云制造环境下资源聚合问题	112
6.3.3 聚合资源多粒度调度过程	112
6.3.4 资源多粒度聚合模型求解	114
6.3.5 资源多粒度调度结果	118
6.4 云制造环境下弹性调度技术研究	120
6.4.1 云制造环境下资源动态调度	120
6.4.2 云制造资源弹性调度框架	123
6.4.3 云制造资源弹性模型求解	125

6.4.4 算例及结果分析	128
第 7 章 云制造多粒度访问控制策略研究.....	131
7.1 引言	131
7.2 无约束云制造多粒度访问控制策略研究	131
7.2.1 云制造访问控制授权问题分析	131
7.2.2 云制造多粒度资源访问控制模型	132
7.2.3 多粒度访问控制有向图	135
7.2.4 基于 K-最短路的无约束访问控制模型求解	135
7.2.5 算例及性能分析	137
7.3 容量约束下的云制造多粒度访问控制策略研究	138
7.3.1 多粒度访问控制策略中的约束性分析	138
7.3.2 基本定义	139
7.3.3 容量约束下的云制造多粒度访问控制算法	139
7.3.4 算例及性能分析	146
第 8 章 云打印.....	151
8.1 引言	151
8.2 云打印的演化路径	151
8.3 云打印体系结构分析	152
8.4 云打印常见模式与标准规范	154
8.4.1 云打印服务的基本模式	154
8.4.2 云打印标准及规范研究分析	155
8.5 基于 QoS 的打印服务调度分析研究	157
8.5.1 云打印服务调度分析	157
8.5.2 基于 QoS 的打印服务调度技术研究	158
8.5.3 实验验证	163
8.6 云打印服务平台及云打印服务器设计	166
8.6.1 云打印服务平台设计	166
8.6.2 云打印服务器设计	169
8.6.3 云打印终端的开发基本流程	171
8.6.4 测试与结果	171
第 9 章 云制造平台框架与设计.....	174
9.1 云制造平台框架	174
9.1.1 模块间关系	175
9.1.2 平台逻辑结构	176
9.2 系统开发环境与工具	177
9.2.1 CloudSim	177
9.2.2 网络服务开发工具	178

9.3 模块功能与设计 179

9.3.1 模块功能分析 179

9.3.2 云资源节点与云制造平台之间的通信方法 182

9.3.3 网络服务的设计 186

9.4 使用流程 191

9.5 界面设计与验证 192

参考文献..... 194

第 1 章

绪 论

1.1 云制造产生背景

1.1.1 网络化制造与制造网络

制造业是国民经济的重要支柱,《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》中明确提出了重点突破“系统集成和协同技术”的发展战略。依据战略部署,在“信息化带动工业化”政策的驱动下,以信息技术,特别是网络技术为依托,以系统集成和协同技术为核心,以满足市场需求的不断变化为目标,制造业进行了大规模的技术改进及产业变革,涌现出了许多新的技术和方法。在以网络为基础的协同制造模式中,网络化制造模式成为了当前的主流模式。

李伯虎院士将网络化制造定义为:将先进的网络技术、信息技术与制造技术相结合,构建面向企业特定需求的基于网络的制造系统,并在系统的支持下,突破空间地域对企业生产经营范围和方式的约束,开展覆盖产品全生命周期全部或部分环节的企业业务活动(如产品设计、制造、销售、采购、管理等),实现企业间的协同和各种社会资源的共享与集成,高效、高质量、低成本地为市场提供所需的产品和服务。重庆大学刘飞教授将网络化制造定义为:网络化制造是基于网络的制造企业的各种制造活动及其所涉及的制造技术和制造系统的总称。其中,网络包括 Internet、Intranet 和 Extranet 等各种网络;制造企业包括单个企业、企业集团以及面向某一市场机遇而组建的虚拟企业等各种制造企业及企业联盟;制造活动包括市场运作、产品设计与开发、物料资源组织、生产加工过程、产品运输与销售和售后服务等企业所涉及的一切相关活动和工作。在网络化制造模式的驱动下,制造业的发展呈现如下趋势:

(1) 制造的个性化。随着技术变革的发展,客户对产品的需求已经从单一型向多样型改变,制造产品及制造过程的个性化越来越突出。

(2) 制造的全球化。随着制造产品个性化、复杂化的快速发展,制造业的资源配置已经不能局限于单一的企业或区域,制造业产业链正向更深、更广、更宽的全球化方向发展。

(3) 制造的服务化。在网络化制造模式下,制造的内涵已经由产业链下游的单纯制造过程转变为覆盖产品全生命周期的一整套解决方案。

(4) 制造的集群化。面对制造过程的大批量、高复杂度、高技术需求等特征,单一制造资源根本无法适应,因此通过网络技术,构建大规模集群制造资源池,实现同质资源的制造能力叠加、异质资源的制造能力互补,以满足现代制造业的特殊需求。

目前,网络化制造在资源服务化建模、资源服务化封装、资源配置与调度、协同设计、 workflow 管理等领域取得了一定成果。但在进一步扩大并深化应用时,网络化制造存在一些发展瓶颈问题,如缺乏通用的体系结构,缺乏统一的标准和规范,缺乏动态的分布式资源配置管理,缺乏必要的柔性和开放性,以信息共享为主,缺乏制造资源的共享等。这些问题极大地制约了网络化制造的发展,形成了以各种网络化制造系统为单元的新的信息孤岛。因此,寻求一种基于国际通用标准的体系结构作为网络化制造的技术支撑,建立一种通用的、统一的标准规范基础上,具有良好的开放性和柔性的网络化制造新模式,成为了迫切需求。在此基础上,制造网格应运而生。

1. 网格技术

网格技术(Grid Technology, GT)是 20 世纪末提出的面向互联网的新兴技术,被誉为“第三代互联网”。网格的先驱 Ian Foster 在《The Anatomy of the Grid》中给网格的定义是:网格计算是动态多机构虚拟组织中的一个协调的共享资源和解决问题的过程。他在 2002 年 7 月的《What is the Grid? A Three Point Checklist》一文中对网格的定义进行了界定,认为可以从以下三个方面判断一个系统是否为网格系统:

- 协调非集中控制的资源。
- 使用标准的、开放的、通用的协议和接口。
- 获得非平凡的服务质量。

网格概念的核心是“资源(包括服务)”以及对“资源的使用”。网格资源具有以下几个特点:

(1) 分布性。网格系统由分布在不同地点、不同类型的网格服务等构成。分布性是网格最根本、最典型和最重要的特征。

(2) 异构性。异构资源映射成统一管理的逻辑资源,实现资源的动态搜集、处理与调度。

(3) 共享性。通过协作、聚合满足用户需求,支持多种规模、多种粒度、多种需求的资源共享问题。

(4) 协同性。以资源互连为基础,包括资源在时间、空间、权限、聚合形式等多方面、多层次、多角度的协同。

(5) 自治性。网格节点有自愿加入和退出的权利,具有局部资源能力的自治性。

(6) 动态性。网格的规模、资源、服务都在不断的变化之中,网格是动态变化的系统。

(7) 协议和接口。协议和接口是异构、异地资源间的协商协作的基础,网格提供了标准的、开放的、通用的网格协议和接口。

2. 制造网络

在信息技术迅猛发展的时代,如何应对市场与产品的客户化、多样化、复杂化、快速化趋势,如何保持企业 T(时间)、Q(质量)、C(成本)、S(服务)优势,如何赢得制造企业快速变革,如何更好地扩大市场占有率等,是现代制造企业的重要课题。近年来,网络化制造在我国取得了快速发展,但是在网络化制造推行应用的过程中,其不足之处也慢慢显现出来,如表 1.1 所示。

表 1.1 网络化制造的不足

伙伴流动性	伙伴流动性大，不利于技术积累和技术保密
伙伴分散性	伙伴分散性大，不利于资源全面优化和项目监督控制
核心能力	容易泄漏核心能力
网络安全	易受黑客攻击，存在安全问题
资源建模	没有统一的建模方法，不能适应多种资源
合作伙伴选择	有限的伙伴选择，不能够达到最佳的伙伴选择
工作流控制	缺乏有效、统一的工作流模型
网络化制造中间件	缺乏统一的开发标准，中间件不具备通用性
网络化制造平台	不具备统一的体系与标准，网络化制造平台间互联互通性差，造成新的信息孤岛
信息服务	网络化制造过程中，缺乏机制保证，没有及时的信息反馈
信息技术	只能进行信息共享，不能进行资源共享

以网格技术为支持，将制造业特征与网格技术相结合，诞生了制造网格。上海大学俞涛教授对制造网格给出了如下定义：制造网格是在网格化制造的技术和方法的基础上，充分利用网格技术所提供的开放的体系框架，通用的标准和规范，统一的开发平台和工具建立的一种通用的、标准的和规范的网络化制造模式，该模式的实现不仅能够达到资源共享、协同工作、降低制造成本、提高资源利用率、加快产品上市时间的目的，同时又具有极大的柔性 and 开放性，可以扩展到世界的每一个角落，覆盖所有的现代制造资源和制造系统，并最终形成全球制造网格。制造网格与网络化制造的异同点如表 1.2 所示。

表 1.2 制造网格与网络化制造的比较

项目		网络化制造	制造网格
相同点	基础环境	Internet/Intranet/Extranet	
	组织模式	扁平式	
	制造地域	分布、异地	
	竞争关系	合作制造、共同赢取市场	
	风险	分散	
	作业流程	并行	
不同点	制造单元	企业	制造资源
	系统平台	没有统一平台	统一的网格平台(Globus Toolkit)
	实现技术	没有统一技术	Web Service 技术
	标准规范	没有统一的标准和规范	OGSA、WSRF 规范
	合作时间	暂时或长期	暂时
	开放性	大量的定制开发	标准的资源封装

制造网格资源具有分布性、异构性、共享性、协同性、自治性、动态性等特点,基于标准的和开放的网格协议。制造网格近年来得到了广泛关注,在服务化、任务管理、服务质量等方面取得了较丰富的成果。然而,制造网格由于其自身理论基础(网格技术)的局限,一些制约问题也逐渐显现出来,具体有以下几点:

(1) 制造网格的不稳定性。由于制造网格的节点具有强自治性,节点可以自由加入或退出制造网格,在极端情况下,当该节点的资源为稀缺资源时,完全自治的自由退出会造成制造网格的失稳甚至瘫痪。

(2) 制造网格的信誉缺失。当节点资源出现异常时,制造任务需要经历复杂的调度与协商过程,才能迁移至新的节点,造成时间、成本方面的严重损耗和制造网格的信誉缺失。

(3) 制造网格的有限服务质量。由于网格强调整节点的自治性,资源节点仅提供服务的单一粒度访问控制能力,缺乏多粒度、多尺度的访问控制,导致了制造网格仅有“有限”的服务质量。

由于网格技术的局限,其应用领域主要集中在学校与科研机构,行业应用中尚无成功案例。正如网格之父 Ian Foster 指出:“尚缺乏成功的商业应用网格出现”。

因此,基于制造网格理论与技术,克服制造网格的制约瓶颈,形成一种新的网络化制造模式,以推进制造业信息化的持续、深入研究、应用与发展,就成为了制造业模式研究中迫切需要解决的问题。

1.1.2 云计算到云制造

云计算(Cloud Computing, CC)是近年来正在进行广泛研究的新兴技术,是分布式处理、并行处理和网格计算的发展及实现,它将信息技术带入了基于网络的“云”时代,并得到了 IBM、Google、亚马逊等大型跨国公司的大力推广。云计算在 IBM 技术白皮书“Cloud Computing”中的定义为:“用来同时描述一个系统平台或者一种类型的应用程序。一个云计算的平台按需进行动态的部署、配置、重新配置以及取消服务等。在云计算平台中的服务器可以是物理的服务器或者虚拟的服务器”。

云计算是虚拟化、效用计算、网格计算的发展,是以基础设施即服务(Infrastructure as a Service, IaaS)、平台即服务(Platform as a Service, PaaS)、软件即服务(Software as a Service, SaaS)为主要形式的新一代服务计算技术。云计算具有以下特点:

(1) 超大规模。通过构建超大规模云计算资源池,云计算提供高性能、高效率、低成本的超强计算服务,Google 云计算已经拥有超过 100 万台服务器。

(2) 虚拟化。虚拟化是云计算中资源的抽象方法,通过虚拟化,可以实现异质、异构资源的无缝访问。

(3) 高可靠性。由于存在超大规模的云计算资源池,因此在云资源发生异常时,可以通过数据迁移、容错管理等手段,进行同质同构资源的互换,从而保障了服务的高可靠性。

(4) 按需服务。以满足个性化需求为目标,通过资源弹性配置、服务质量管理等方法,形成按需服务能力。

(5) 低成本。云计算减少甚至免除了资源的购置、维护、管理等成本投入,并且通过超大规模资源池,实现大批量计算服务,极大地降低了计算成本。

(6) 标准化与弹性扩展。虽然目前云计算框架尚缺乏广泛接受的标准,但是在资源的

云端化接入与描述中,OVF 虚拟化技术、SOA 体系、Web Service 描述已经具有了广泛共识。同时,云计算在资源的弹性扩展等方面具有较为明显的特点。

云计算凭借其按需服务、资源虚拟化等特点及为用户提供多粒度多尺度的服务能力得到了广泛关注与快速发展,先后出现了云安全、云存储、云仿真等多种行业应用。将云计算与制造业相结合,提供面向制造过程的资源共享与协同,形成了一种新的网络化制造模式——云制造(Cloud Manufacturing, CM),成为了制造业信息化发展中的一个重要方向。

云制造是在“制造即服务”的理念的基础上,引入云计算技术和思想而来的一个新概念。中国工程院李伯虎院士率先提出了“云制造”的概念,并指出:“云制造”是一种面向服务的、高效低耗和基于知识的网络化智能制造新模式,是云计算理念在制造领域的体现和发展。“863 计划”先进制造技术领域也于 2010 年 11 月发布了“云制造服务平台关键技术”的主题项目。云制造克服了制造网格的局限性,成为了一种网络化制造新模式,将网络化制造带入了一个崭新的阶段。

云制造是在制造网格的基础上发展而来的,在吸收了制造网格基本标准的前提下,克服了制造网格中的瓶颈问题,具体有以下几点:

(1) 采用“资源租赁”的方式,减弱资源节点的“自治”权限,从技术上克服了网格中完全自治所导致的失稳,也克服了信誉缺失问题。

(2) 提供了需求者对资源节点的多粒度、多尺度的控制能力,提供了更好的服务性、访问性和可操作性。

(3) 云制造强调商业应用,克服了网格技术大多局限于学术研究,难于进行推广应用的问题。

但是,云制造作为一种新兴的网络化制造模式,其基础理论问题的研究相对缺乏。因此,本书深入开展了如下方面的研究与应用:

(1) 云制造概念及体系结构,讨论了云制造的演化路径、动因及方程,分析了云制造的概念及体系,研究了云制造的核心特征、关键技术及组织模式等问题,建立了云制造的运行流程等基础理论问题。

(2) 云制造资源虚拟化技术,建立了云制造资源虚拟化模型,讨论了云制造资源模板及其描述技术,研究了基于模板技术的云制造资源服务化封装方法、发布及部署,分析了云制造虚拟化的实现技术。

(3) 云制造的资源云端化技术,在讨论了云制造资源的主要云端接入方法和现有物联网体系结构的基础上,研究了基于 ZigBee 的云端资源接入框架及接入技术,提出了改进 AODVjr 算法,并建立了云端接入案例。

(4) 云制造服务解析及服务匹配技术,研究了云制造资源本体技术,开展了基于 Jean 推理机的客户需求分析解析,研究了云制造中单资源、聚合资源的服务匹配技术。

(5) 云制造资源调度技术,讨论了基于等级划分的云制造动态资源调度技术,研究了区分粒度以及弹性需求下的资源调度技术。

(6) 针对访问控制这一保证云制造系统安全性、有效性、可用性的关键问题,分别从无约束、容量约束两个角度着重开展了云制造环境下多粒度服务访问控制策略与方法。

(7) 针对云制造的应用推广问题,以云打印为对象,讨论了云打印的特征、基于 QoS 的云打印服务调度以及设计,并开发了云打印平台及服务器。

(8) 云制造平台框架与设计,建立了云制造平台框架,开发了主要功能模块及平台设计。

本书的研究对促进云制造理论的完善、推动云制造的快速发展奠定了较好的理论基础。

1.2 云制造的国内外研究现状

1.2.1 云计算技术

云计算借用了量子物理中的“电子云”(Electron Cloud)的概念,最早由 Google 公司在 2006 年提出,从提出至今,云计算已经在全球产生了巨大的影响力。Google、Amazon、IBM 和微软等公司的大力推动及学术界的参与研究表明,“云计算”已经获得了业界的高度认同,在多种技术成熟发展的基础上,云计算把握着 IT 行业未来发展的大方向。其特有的虚拟化特性和商务特性使其成为企业和学者的研究热点。

在云计算的概念方面,学术界和商业界众说纷纭,还未形成统一的定义。比较有影响的有:Markus Klems 认为云计算是一个囊括了开发、负载均衡、商业模式以及架构的体系,是以 Internet 为中心的软件。Reuven Cohen 认为云计算是一种让用户脱离技术与部署上的复杂性而获得应用的 Web 服务。Gartner 认为云计算是通过因特网技术,对极大规模外部客户需求提供服务的一种计算方式。Ian Foster 认为云计算是基于 Internet,通过抽象、虚拟化及动态调整,从经济角度来管理计算、存储、平台和服务,以满足外部客户需求的大规模分布运算。

在云计算的开发计划方面,IT 行业巨头起到了主要的推动作用,主要的公司有 Google、IBM、Amazon、微软等。最早推出基于云计算理念的项目是亚马逊的弹性计算云(Elastic Compute Cloud, EC2)服务。亚马逊云计算网络服务主要由 4 部分组成:S3(Simple Storage Service,简单存储服务)、EC2、SQS(Simple Queuing Service,简单信息队列服务)以及 Simple DB。Google 是云计算的领导者及主力军,先后开发了面向云计算的 Google Apps 和面向云设备的 Google Android 操作系统,取得了良好的经济效益和社会反应。Midori 是微软继 Windows 7 之后将要发布的新操作系统的代码,是一个真正的“云计算”操作系统,其使用与硬件无关的“可控制代码(managed code)”。2007 年 11 月,IBM 推出蓝云(Blue Cloud)计划,为客户提供“即可使用(Ready-to-Use)”的云计算服务,它基于由 IBM 软件、系统技术和服 务支持的开放标准和开源软件,包括一系列的云计算产品。

在云计算的基础框架方面,Rajkumar Buyya 等提出了面向市场的 4 层云计算框架;Francesco Maria Aymerich、Shantenu Jha 提出了基于网格的云计算结构;Mladen A. Vouk 研究了云计算的结构、虚拟化、工作流及实现等关键问题;Burt Kaliski 提出了多租户云计算结构;David Young 提出了“云计算机的规范”的概念,指出了云计算的九大结构,即虚拟层网络稳定性、API、应用层的互操作性、状态层的互操作性、应用服务、自治的伸缩性、硬件级的负载均衡、存储即服务和超级用户权限,同时指出了云计算应该采取的三个主要构件,即门户化的网页、自治的虚拟云和虚拟应用服务器。B. Rochwerger 等提出

了RESERVOIR云基础模型; Daniel Nurmi等提出了Eucalyptus开源云计算系统框架; Paul Watson等提出了CARMEN体系结构; Wikipedia定义了云计算4层结构, 分别为云基础设施层、云平台层、云应用层和云客户端层, 分别从应用、终端、基础设施、平台、服务、存储等方面阐述了相关规范和标准, 这是目前普遍接受的基础框架结构。此外还有数据敏感GridBatch、数据密集云计算等。

比较知名的云计算商业应用方面主要有亚马逊的Dynamo、微软的Windows Azure及Google的GFS等。在云计算的基础理论研究方面, 主要开展了资源虚拟化、云计算仿真、任务调度、工作流、计费模型、科学云等。

构建于大量基础设施服务器集群上的云计算, 将多种技术融合, 以其独特的特性向个人用户和企业级用户提供计算资源、存储资源及其他更可靠的服务。在网络化制造的基础上将制造业与云计算相结合, 以按需制造为目的, 以资源协同与共享为手段, 向用户提供多粒度、多尺度的制造服务, 形成一种新型网络化制造模式——云制造(ManuCloud, MC), 成为制造业信息化发展中的一个重要方向。

1.2.2 云制造概念与框架

云制造首先是由李伯虎院士提出并定义的, 即云制造是一种利用网络和云制造服务平台, 按用户需求组织网上制造资源(制造云), 为用户提供各类按需制造服务的一种网络化制造新模式。在此基础上, 国内相关学者纷纷就云制造的概念及其体系结构展开了广泛的讨论, 杨海成教授认为云制造是面向区域、行业或企业, 借助先进的信息技术, 实现对产品开发、生产、销售、使用等全生命周期的相关资源的整合, 提供标准、规范、可共享的制造服务的制造模式。“863”先进制造专家组组长王田苗教授、浙江大学顾新建教授都从不同角度定义了云制造的概念。云制造作为新兴的制造模式, 其相关的研究工作刚起步不久, 相关学者对其概念、体系结构等基础理论方面做了部分研究。李伯虎院士分析了云制造与现有制造模式的区别, 提出了云制造的体系结构, 讨论了云制造的关键技术, 并形成了基于云仿真的原型平台。顾新建教授针对云制造中的资源成组技术, 讨论了成组技术的特点、标准、技术路线等。清华大学肖田元教授给出了一种基于联邦模式的云制造集成体系架构, 即在各种云制造平台基础上安装云制造联邦运行支撑环境, 按照一定的协议和规则描述各平台提供的服务, 使得各平台之间自主地形成虚拟组织——联邦, 通过云制造联邦执行支撑环境接口实现服务的松耦合集成。华中科技大学黄刚等人给出了一类涉及服务需求方、制造服务提供方、制造应用提供方、服务平台运营方四种角色的云制造服务模式, 该模式实现了数据云与应用云的分离。北京航空航天大学任磊等人对云制造中的资源虚拟化这一关键技术进行了研究, 给出了云制造资源虚拟化的理论框架, 指出该框架共分为制造资源虚拟层、物理资源池、物联网基础设施层、虚拟资源云池以及虚拟资源管理五个层次, 并且论述了云制造资源的虚拟化、智能感知与控制、动态构建和调度服务等相关关键技术。山东大学的孟祥旭教授对云制造资源和能力的云端化、资源聚集与服务、服务运营与交易等支撑技术进行了详细的分析。李伟平等对云制造中的关键技术进行了分析。本书的团队也对云制造的体系结构、云制造环境下的服务访问控制方法以及制造资源的虚拟化方法等多个方面进行了研究。

国内外针对云制造的框架以及应用方面已经开展了一些相关的研究工作, 并且取得了