



Theory and Development of Grid

网格原理与开发

❖ 夏靖波 刘颖 汪胜荣 编著



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

网格原理与开发

夏靖波 刘 颖 汪胜荣 编著

西安电子科技大学出版社

2006

内 容 简 介

本书针对网格开发人员,按照网格是什么、网格能干什么、怎样进行网格开发的思路,对网格概念、网格体系结构、网格管理、网格应用、网格开发以及网格安全、网格性能评价及网格仿真等问题进行了全面的介绍。

本书每章都有思考题,以此强调重点内容,便于读者学习和掌握。

本书面向专业人员编写,也可以作为高年级本科生及研究生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

网络原理与开发 / 夏靖波等编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.4

ISBN 7-5606-1656-9

I. 网… II. 夏… III. ① 网络—理论 ② 网络—开发 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 025316 号

责任编辑 阎 彬 云立实 臧延新

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

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×960 毫米 1/16 印 张 18

字 数 221 千字

印 数 1~4000 册

定 价 27.00 元

ISBN 7 - 5606 - 1656 - 9 / TP · 0399

XDUP 1948001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

前 言

网格是一种新型的分布式计算技术，是信息社会的网络基础设施，被称为继传统因特网、万维网之后的第三代因特网应用。网格的目标是把整个因特网整合成一台巨大的超级虚拟计算机，实现互联网上所有资源的互联互通，完成计算资源、存储资源、通信资源、软件资源、信息资源、知识资源、专家资源等的智能共享。随着研究的问题越来越复杂以及技术的日益强大有力，今天的科学研究已经强烈地依赖于计算机的应用，包括计算和数据分析等，以及科学家之间的密切合作。单台计算机系统或者简单的文件共享已经不能满足这些应用的需求，而是需要对其它计算机、软件、数据以及其它资源进行直接访问。网格的出现为解决这一问题提供了崭新的途径。

网格以其重要的战略意义以及广阔的应用前景成为当今吸引众多研究人员和巨大资金投入的研究热点。从美国、欧洲、日本等发达国家和地区到印度等发展中国家，都启动了大型网格研究计划，并得到了产业界的大力支持。各 IT 厂商(如 SUN、IBM、Microsoft 等)也积极开展网格计算的研究开发。

我国的许多行业和领域，如生物、能源、交通、气象、水利、农林、教育、环保、国防等对高性能网格计算的需求量都非常巨大。通过使用网格计算，希望能够实现廉价、普遍的高性能计算，能够随心所欲地访问各种信息，完成原有计算模式无法胜任的工作。

虽然目前国内外已经有一些网格方面的专业书籍出版，但针对网格开发人员，系统讲述网格原理与开发技术的书籍还很少见。本书按照网格是什么、网格能干什么、怎样进行网格开发的思路，对网格概念、网格体系

结构、网格管理、网格应用、网格开发以及网络安全、网格性能评价、网格仿真等问题进行了全面的介绍。

全书共分为 8 章：第 1 章是网格概论，包括网格概念、分类、研究现状和相关组织。第 2 章是网格体系结构，包括五层沙漏结构、OGSA 结构、开放网格服务基础设施和具体的网格体系结构。第 3 章是网格管理，包括网格的资源管理、数据管理和系统管理。第 4 章是网格的应用，介绍了几种典型的网格应用。第 5 章是网格开发，主要介绍网格开发工具 Globus Toolkit、GT3 和 GT4。第 6 章是网络安全机制，内容包括网格的安全体系结构、网络安全基础架构 GSI、网络安全结构的关键技术、网络安全解决方案及应用示例。第 7 章是网格系统性能评价，包括网格性能评价的意义和标准、评价模型、网格优化以及 Bricks 评价系统。第 8 章是网格仿真，包括网格仿真的意义和特点、几种著名的网格仿真器、网格模拟器的分类以及 SimGrid 仿真实例。

本书面向专业人员编写，也可以作为高年级本科生及研究生在高级网络和分布式计算方面的课程的教材。

本书的出版得到了陕西省自然科学基金和教育部高等学校访问学者基金的资助，也得到了空军工程大学电讯工程学院训练部和网络工程系的大力支持。王焕彬、李德峰两位同学为本书搜集了部分资料，戴静同学为本书绘制了部分图表，在此一并表示感谢。同时还要感谢西安电子科技大学出版社的领导和编辑为本书出版付出的辛勤劳动。

如在本书的使用和学习方面存在问题，欢迎与作者联系，电子邮箱为：
jbxia@sina.com。

由于作者水平和时间的关系，书中难免有不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

作 者
2006 年 1 月

目 录

第 1 章 网格概论	1
1.1 网格概念	1
1.1.1 网络计算	1
1.1.2 网格计算	4
1.1.3 各类网络计算之间的异同	7
1.1.4 网格的特点	9
1.1.5 网格的应用	10
1.2 网格的分类	12
1.2.1 按网格客体分类	12
1.2.2 按网格主体分类	13
1.2.3 按网格策略分类	15
1.3 网格的研究现状	16
1.3.1 美国的网格研究	17
1.3.2 欧洲的网格研究	19
1.3.3 亚洲的网格研究	21
1.3.4 我国的网格研究	22
1.3.5 志愿者计算	23
1.4 网格相关组织	25
1.4.1 全球网格论坛	25
1.4.2 万维网联盟	25
1.4.3 国际互联网工程任务组	26

1.4.4 结构化信息标准促进组织	27
1.4.5 其他组织	28
思考题	29
第 2 章 网络体系结构	30
2.1 五层沙漏结构	30
2.1.1 基本思想	30
2.1.2 沙漏结构的各层描述	33
2.1.3 Globus 对网络的理解	38
2.2 OGSA 体系结构模型	42
2.2.1 OGSA 的基本思想	42
2.2.2 网络服务	44
2.2.3 OGSA 主机环境	47
2.2.4 基于 OGSA 的虚拟组织	48
2.2.5 基于 OGSA 的类比生成服务	50
2.3 开放网络服务基础设施(OGSI)	52
2.3.1 对 OGSI 的高级介绍	52
2.3.2 OGSI 规范的高级细节	54
2.4 几种具体的网络体系结构	56
2.4.1 科学计算网络的体系结构	56
2.4.2 数据网络的体系结构	59
2.4.3 知识网络的体系结构	59
2.4.4 Web 服务网络的体系结构	60
思考题	61
第 3 章 网络管理	62
3.1 网络资源管理	62

3.1.1 网格资源	62
3.1.2 网格资源的特征	64
3.1.3 网格资源的分类	66
3.1.4 网格资源管理的特点	67
3.1.5 网格资源管理系统	68
3.2 网格数据管理	77
3.2.1 网格数据管理概述	77
3.2.2 网格数据传输	79
3.3 网格系统管理	81
3.3.1 网络安全管理	81
3.3.2 网格监控系统	83
思考题	86
第 4 章 网格的应用	87
4.1 分布式超级计算	87
4.1.1 军事仿真	87
4.1.2 数字相对论	88
4.1.3 其他计算网格	89
4.2 分布式仪器系统	90
4.2.1 远程医疗	90
4.2.2 远程访问贵重仪器	91
4.3 数据密集型计算	92
4.3.1 欧洲 DataGrid	93
4.3.2 其他数据网格	94
4.4 远程沉浸	95
4.4.1 虚拟历史博物馆	97
4.4.2 协同学习环境	97

4.4.3 数据可视化协同分析环境	98
4.5 生物信息网络	98
4.5.1 大脑形态实验平台(BIRN)	100
4.5.2 精神分裂症的官能成像研究实验平台(FIRST BIRN)	100
4.5.3 多刻度的老鼠疾病模型实验平台(Mouse BIRN)	101
4.6 军事信息网络	102
4.6.1 军事信息网络的发展背景	102
4.6.2 军事网络的形态	105
4.6.3 军事网络的效能	107
思考题	109
第 5 章 网络开发	110
5.1 网络开发工具 Globus Toolkit 简介	110
5.1.1 Globus Toolkit 2.0	110
5.1.2 Globus Toolkit 3.0	111
5.1.3 Globus Toolkit 4.0	111
5.2 GT3 开发	112
5.2.1 Linux 下 Globus Toolkit 3.0 的安装	112
5.2.2 Windows 下 Globus Toolkit 3.0 的安装	125
5.2.3 GT3 下的网格服务开发	128
5.3 GT4 开发	136
5.3.1 GT4 的安装	136
5.3.2 WS-Component	144
5.3.3 GT4 中的新协议	145
5.3.4 WSRF	146
5.3.5 实际的 WSRF 服务: 大整数因数分解(LIF)	150
思考题	173

第 6 章 网络安全机制	174
6.1 网格的安全体系结构	174
6.1.1 网络安全需求	174
6.1.2 网格分层的安全体系结构	178
6.2 网络安全基础架构 GSI	187
6.2.1 数字证书(Digital Certificate)	188
6.2.2 相互鉴别(Mutual Authentication)	190
6.2.3 秘密通信(Confidential Communication)	190
6.2.4 私钥保护(Securing Private Keys)	191
6.2.5 委托与单点登录(Delegation and Single sign-on)	191
6.3 网络安全结构的关键技术	193
6.3.1 PKI 安全认证	196
6.3.2 对称密码体制和非对称密码体制	205
6.3.3 Kerberos	209
6.4 网络安全应用示例及安全应用	212
6.4.1 网络安全应用示例	212
6.4.2 网格的安全应用	214
思考题	214
第 7 章 网格系统性能评价	215
7.1 网格性能评价的意义和标准	215
7.1.1 性能评价的数学基础	215
7.1.2 性能评价的标准	217
7.1.3 性能评价的指标	221
7.1.4 基准程序	223
7.1.5 性能预测	224

7.2 评价模型	226
7.2.1 单服务器队列	226
7.2.2 排队网络	228
7.3 网络优化	230
7.3.1 影响网络性能的因素	230
7.3.2 优化方法	231
7.4 Bricks 评价系统	233
思考题	235
第 8 章 网络仿真	236
8.1 网络仿真的意义和特点	236
8.2 几种著名的网络仿真器	237
8.2.1 Bricks	237
8.2.2 MicroGrid	239
8.2.3 SimGrid	239
8.2.4 GridSim	240
8.2.5 ChicSim	241
8.2.6 EDGSim	242
8.2.7 GridNet	242
8.2.8 OptorSim	243
8.3 网络模拟器的分类	244
8.3.1 网络系统的模拟	245
8.3.2 模拟器使用特性分类	249
8.4 SimGrid 仿真示例	250
8.4.1 SimGrid 简介	250
8.4.2 SimGrid 安装	251
8.4.3 在 SimGrid 下编译 C 程序	252

8.4.4 SG 的使用和例程源代码分析	255
8.4.5 MSG 的使用和例程源代码分析.....	259
8.4.6 调度单元源代码分析	263
思考题	266
参考文献	267

第1章 网络概论

网络从本质上说是一种网络计算。为了便于理解网络的概念，本章首先介绍三种典型的网络计算模式，在此基础上再分析网络的特点，并对各类网络计算的特点和相互之间的异同点进行简单的对比。然后介绍网络的分类、国内外研究现状以及一些具有代表性的网络研究组织。

1.1 网络概念

1.1.1 网络计算

网络计算是指为了把由网络连接起来的各种自治资源和系统组合起来，以实现资源共享、协同工作和联合计算，为各种用户提供基于网络的各种综合性服务。近年来出现了多种网络计算的模式，例如企业计算、对等计算、普及计算等，下面将分别进行介绍。

1. 企业计算

企业计算是以实现大型组织内部和组织之间的信息共享和协同工作为主要需求而形成的网络计算技术，其核心是 Client/Server 计算模型和相关的中间件技术。

早在 20 世纪 80 年代，人们就提出了在互连的计算机硬件上部署新型的分布式操作系统，全面彻底地管理整个系统，给用户单一的系统视图。尽管这一努力产生了许多技术成果和实验系统，但一直没有形成可

用的产品,人们直觉地感到在不断扩展的局部自治异构系统上实现资源的集中管理几乎是不可能的,于是便开始采用中间件平台技术,以屏蔽系统的异构性,支持局部自治系统的信息交互和协同。经过十几年的发展,中间件技术取得了令人瞩目的发展,出现了远程数据库访问、远程过程调用、消息传递和交易管理等各类中间件。

20 世纪 90 年代末,面向对象的中间件技术成为中间件平台的主流技术,出现了以 SUN 公司的 EJB/J2EE、Microsoft 公司的 COM+/DNA 和 OMG 公司的 CORBA/OMA 为代表的三个技术分支。其研究热点是建立标准化的对象请求代理,屏蔽网络环境下的计算平台、操作系统、编程语言、网络协议的异构性和复杂性,使分布在网络上的应用系统能够协同工作,为网络应用提供通用的高级网络管理服务以及与应用领域相关的增值服务。

进入 21 世纪,随着电子商务需求的发展,企业计算面临企业间的信息共享和协同工作的难题,面向 Web 的企业计算解决方案成为热点,W3C(World Wide Web Consortium,万维网联盟)提出了 Web Service 技术体系,Microsoft 推出了 .Net 技术,SUN 推出了 SUN ONE 架构,企业计算技术从而全面进入了 Internet 时代。

2. 对等计算

对等计算(Peer-to-Peer,简称 P2P)是在 Internet 上实施网络计算的新模式。在这种模式下,服务器与客户端的界限消失了,网络上的所有节点都可以“平等”共享其他节点的计算资源。IBM 为 P2P 下了如下定义:

P2P 系统由若干互连协作的计算机构成,且至少具有如下特征之一:系统依存于边缘化(非中央式服务器)设备的主动协作,每个成员直接从其他成员而不是从服务器的参与中受益;系统中的成员同时扮演着服务器与客户机的角色;系统应用的用户能够意识到彼此的存在,构成一个虚拟或实际的群体。

因此, P2P 把网络计算模式从集中式引向分布式, 网络应用的核心从中央服务器向网络边缘的终端设备扩散: 服务器到服务器、服务器到 PC 机、PC 机到 PC 机、PC 机到 WAP 手机, 所有网络节点上的设备都可以建立 P2P 对话。

P2P 给互联网的分布、共享精神带来了无限的遐想。有观点认为, 至少有几百种应用能被开发出来, 但从目前的应用看, P2P 的威力还主要体现在大范围的共享和搜索的优势上, 诸如对等计算、协同工作、搜索引擎及文件交换等。

3. 普及计算

普及计算(Ubiquitous Computing or Pervasive Computing)强调人与计算环境的紧密联系, 使计算机和网络更有效地融入人们的生活, 让人们在任何时间、任何地点都能方便快捷地获得网络计算提供的各种服务。

普及计算研究的内容主要包括两个方面: 自然的人机交互和网络计算。美国排名前十位的大学无一例外地投巨资设立了以“普及计算”为主要方向的研究计划。目前有四个研究计划最具影响力, 这些计划的目标是提出全新的体系结构、应用模式、编程模型等基础理论模型和方法。这些计划包括:

- MIT 的 Oxygen 研究计划。

该计划的研究人员认为, 未来世界将是一个到处充斥着嵌入式计算机的环境, 它们已经融入人们的日常生活中。Oxygen 希望充分利用这些丰富的计算资源, 达到“做更少, 完成更多(to do more by doing less)”的目的。

- CMU 的 Aura 研究计划。

它致力于研究在普及计算时代, 在用户和计算环境之间增加一层软件层(称为 Aura), 由 Aura 代理用户去管理、维护分布式计算环境中频繁变化、松散耦合的多个计算设备, 以完成用户的目标任务。Aura 推崇的

理念是：“人的精力(User Attention)”是最宝贵的资源，应该让它集中在用户要完成的任务上，而不是管理、配置硬件和软件资源上。

- UC Berkeley 的 Endeavour 计划。

这是 UC Berkeley 进行的旨在通过运用信息技术，提供全新的、全球规模的信息基础设施，从根本上方便人们与信息、设备和他人进行交互的计划。这些信息设施需要能够动态实时地协调世界上任何可用的资源来满足用户计算的需要，其创新点之一是“流体软件(Fluid Software)”，这种软件能够自适应地选择在何处执行、在何处存储，它通过协议获得可用资源并向其他实体提供服务。

- 华盛顿大学的 Portolano 计划。

该计划提出了“以数据为中心的网络”，以适应让计算本身变成不可见(Invisible Computing)的要求。它认为目前计算机技术的发展仍然是技术驱动而不是用户需求驱动的，为了改变这一现状，该计划致力于研究根据用户的位置变化而自适应地改变软件用户界面的机制、以数据为中心的网络以及新型的分布式服务模型。

1.1.2 网络计算

网络研究起源于 20 世纪 90 年代初由美国政府资助的分布式超级计算项目 I-WAY。从 1993 年开始，高性能计算技术和互联网技术进一步融合，产生了继 Internet、Web 之后的第三次技术浪潮——网络计算。

网络计算(Grid Computing)是一种特殊的具有重要创新思想和巨大发展潜力的分支网络计算。最初，网络计算研究的目标是希望能够将超级计算机连接成为一个可远程控制的元计算机系统(MetaComputers)，这一目标已经深化为建立大规模计算和数据处理的通用基础支撑结构，将网络上的各种高性能计算机、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)集成在一起，为各种应用开发提供底层技术支撑，将 Internet 变

为一个功能强大、无处不在的计算设施。

网格计算可以从三个方面来理解：

(1) 从概念上讲，网格计算的目标是资源共享和分布协同工作。网格的这种概念可以清晰地指导行业和企业中各个部门的资源进行行业或企业整体上的统一规划、部署、整合和共享，而不仅仅是行业或大企业中的各个部门自己规划、占有和使用资源，这种思想的沟通和认同对行业和企业是至关重要的，将提升或改变整个行业或企业信息系统的规划部署、运行和管理机制。

(2) 网格是一种技术。为了达到多种类型的分布资源共享和协作，网格计算技术必须解决多个层次的资源共享和合作问题，制定网格的标准，将 Internet 从通信和信息交互的平台提升到资源共享的平台。

(3) 网格是基础设施，是通过各种网络综合计算机、数据、设备和服务等资源的基础设施。随着网格技术的逐步成熟，将建立地理分布的遍布全国或世界的大型资源节点，集成网络上的多个资源，联合向全社会按需提供全方位的信息服务。这种设施的建立，将使用户如同今天我们按需使用电力一样，无需在用户端配置大量的全套计算机系统和复杂软件，就可以简便地得到网格提供的各种服务，这样，设备、软件投资和维护开销将大大减少。

现在已经可以看到多种类型的网格，如计算网格、数据网格、科学网格、存储网格、知识网格、地理网格、传感器网格、集群网格、校园网格、亿万量级网格(Tera Grid)和军事网格等。但究竟什么样的系统才是网格，这一直是一个有争议的问题。

评判一个系统是否是网格，必须看此系统所能提供的应用、商业价值和科学结论，而不是仅仅看它的系统结构。1998 年，全球网格研究的领军人物、著名网格项目 Globus 的负责人、美国阿岗国家实验室的资深科学家 Ian Foster 在《网格：一种新的计算基础设施蓝图》一书中给网格下的定义是：一个计算网格是一个硬件和软件基础设施，此基础设施提