

计算网格中的任务管理研究 及示范应用

黄昌勤 栾翠菊 宋广华
魏贵义 陈启买 等著



计算网格中的任务管理 研究及示范应用

黄昌勤 栾翠菊 宋广华 魏贵义 陈启买 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

网格计算作为一种重要的新型分布式计算技术,有其重要的战略意义和广阔的应用前景,其中的任务管理是基础且具有挑战性的研究内容。本书以计算网格为例,介绍了网格任务管理中的诸多关键技术和典型应用实例。内容主要包括:计算网格中任务管理研究的背景知识、面向用户的网格任务管理体系结构、调度模型及相关算法、分布式网格任务监控体系MMS、并行适应性任务性能预测模型CBPP、任务调度中的负载平衡和容错机制、网格不确定性的对策及服务质量管控方法、并行化子任务级授权服务PSAS等。

本书可作为计算机、电子、通信等专业的高年级本科生和研究生的参考书,也可供从事网格计算基础理论研究和相关应用开发的科技工作者参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

计算网格中的任务管理研究及示范应用/黄昌勤等著. —北京:科学出版社, 2009

ISBN 978-7-03-023682-1

I. 计… II. 黄… III. 网格-管理-研究 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 197633 号

责任编辑:任 静 王志欣 / 责任校对:包志虹

责任印制:赵 博 / 封面设计:嘉华永盛

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 3 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009 年 3 月第一次印刷 印张: 14 1/2

印数: 1—2 500 字数: 279 000

定价: 40.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<新蕾>)

前 言

网格计算作为一种发展迅速的基础设施,能够共享大规模分布式的计算资源、存储资源、数据资源、软件资源、设备资源及人力资源等,能够突破现有的计算限制,实现大规模协同的科学计算及协同问题求解,成为一种新型的分布式计算模式,被认为是继因特网和 Web 之后的第三次信息技术浪潮,是下一代互联网技术研究与应用的重要领域之一,也是被当今众多研究人员所关注和吸引巨大资金投入的研究热点和前沿问题。

目前无论是发达国家还是像中国、印度等一些发展中国家,都启动了大型网格研究计划,并得到了产业界的大力支持。美国政府用于网格技术基础研究经费已达 5 亿美元。美国军方规划实施了一个宏大的网格计划,称为“全球信息网格(Global Information Grid)”,预计在 2020 年完成。英国政府已投资 1 亿英镑,用来研制“英国国家网格(NK National Grid)”。世界各国的主要 IT 厂商也积极开展网格计算的研究开发,包括 Sun、IBM、Microsoft、Intel、SGI 等。由中国政府发起的网格项目有:中国国家网格(China National Grid)、中国教育科研网格(China Grid)、国家自然科学基金委网格(NSFC Grid)、上海网格(Shanghai Grid)。通过应用网格,将有效完成广域网络环境下资源的深度共享,消除信息孤岛;将能实现普遍的高性能计算,提供高水平、低成本的多种服务。

网格的大规模、异构、动态、分布和自治等特性,使其任务管理变得非常复杂和难以有效实现。同时,可用性和易用性的迫切需求使网格计算的任务管理研究显得更加关键和必要。本书以计算网格环境中的任务管理为核心,围绕诸多关键技术展开研究,并进行示范应用介绍。在当前已有的网格计算专业书籍中,尚未存在针对网格计算中任务管理关键技术的研究专著,本书聚焦网格任务管理,为开展网格相关研究及其应用开发提供了有益的指导和参考。

全书共分 10 章。第 1 章介绍了本研究的背景知识和网格计算的概念、发展、面临的挑战以及关键技术等。第 2 章在分析计算网格的任务特点及应用需求的基础上,提出了面向用户的任务管理体系结构。第 3 章以计算网格的任务调度模型和策略为研究对象,提出了一种能够适应计算和数据密集型网格应用的双组件双队列分布式调度模型 D^3SM 和两种相宜任务调度策略:传输与计算重叠策略、

任务与数据协同调度策略。第4章在介绍常用的启发式算法之后,研究了三种任务调度算法,即XCIGS算法、HGSA和基于代理的分层调度算法。第5章提出基于GMA标准的分布式网格任务监控体系MMS。第6章提出了并行适应性任务性能预测模型CBPP。第7章研究运用智能代理和冗余技术解决任务调度中的负载均衡和容错问题。第8章以 D^3SM 调度模型为基础探讨了克服网格不确定性的对策及其基于任务的QoS管理。第9章探讨了并行化子任务级授权服务(PSAS)体系。第10章以工程和科学计算为应用环境,介绍了一个网格平台任务管理系统的实现及典型应用实例。

本书的主要研究工作是在国家杰出青年科学基金项目(编号:60225009)的资助下,由浙江大学工程与科学计算研究中心合作完成的,除作者外,主要成员还包括郑耀教授、张继发副研究员、解利军博士、陈建军博士、朱朝艳硕士、黄信硕士、王伟硕士、朱旭庆硕士、林中一硕士、张桢夏硕士等。该研究工作也得到了华南师范大学教育信息技术学院网格计算研究团队和中山大学协同软件研究团队的补充和拓展,同时得到了中国博士后科学基金项目(编号:20060390148、20080440121)、全国教育科学“十一五”规划教育部青年专项课题(编号:ECA080286)的资助。华南师范大学教育信息技术学院徐福荫教授和许骏教授、中山大学汤庸教授、上海海事大学信息工程学院领导以及多位同行专家对本研究给予了大力支持,在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于作者的水平有限,书中难免存在一些不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

2008年3月18日

目 录

前言

第 1 章 网格计算及其任务管理概述	1
1.1 网格计算简介	1
1.1.1 网格计算的概念和意义	1
1.1.2 网格计算的发展过程与趋势	3
1.1.3 国内外的网格计算项目简介	5
1.1.4 网格体系结构	8
1.1.5 网格计算面临的挑战和关键技术	12
1.2 网格计算中任务管理研究的重要性	13
1.2.1 网格中任务管理研究的基础性	13
1.2.2 网格中任务管理研究的迫切性	14
1.3 网格计算中任务管理概述	14
1.3.1 网格任务管理相关概念	14
1.3.2 网格计算任务管理的目标和任务	15
1.3.3 网格计算任务管理的要点	16
1.3.4 与其他任务管理系统的差异	17
1.4 计算网格中任务管理研究的其他问题说明	18
1.4.1 网格任务管理研究的环境对象选择	18
1.4.2 计算网格中任务管理研究的现实驱动	19
1.5 本章小结	19
第 2 章 网格任务管理系统体系结构	21
2.1 网格任务管理系统类型	21
2.2 服务的网格计算环境	22
2.3 任务管理系统的体系结构	24
2.3.1 任务管理系统的总体结构概要	24
2.3.2 任务管理系统的基本功能模块	26
2.3.3 任务管理系统的辅助功能模块	28
2.4 任务启动与执行部件	29
2.5 任务执行流程	30
2.6 任务的存储结构	32

2.7 本章小结	35
第3章 网格任务调度模型 D³SM 及其适宜调度策略	36
3.1 网格任务调度概述	36
3.2 任务与数据一致调度的背景	39
3.3 网格任务调度模型和策略	40
3.3.1 网格任务调度模型	40
3.3.2 网格任务调度策略	40
3.4 D ³ SM 调度模型	43
3.5 协同一致调度策略及其性能分析	45
3.5.1 协同一致调度策略假定	45
3.5.2 调度策略一致化方式	46
3.5.3 调度策略描述	46
3.5.4 性能分析	48
3.6 重叠调度策略及其性能分析	49
3.6.1 重叠调度策略假定	49
3.6.2 重叠策略描述	50
3.6.3 相依性并行任务提前数据传输机制的实现	51
3.6.4 性能分析	52
3.7 实验	54
3.8 本章小结	55
第4章 三个启发式任务调度算法	57
4.1 启发式任务调度算法概述	57
4.2 基于 DAG 的相依性任务调度算法 XCIGS	60
4.2.1 CIGS 算法	60
4.2.2 XCIGS 调度的假定与术语定义	62
4.2.3 XCIGS 算法	64
4.2.4 实验	67
4.2.5 算法评析	68
4.3 启发式贪心调度算法 HGSA	68
4.3.1 问题描述	68
4.3.2 算法 HGSA 描述	71
4.3.3 实验	73
4.3.4 算法评析	75
4.4 无线网络中关注资源间歇性和能耗的分层调度算法	77
4.4.1 无线网络任务调度现状与挑战	77

4.4.2	基于代理的分层调度模型	78
4.4.3	无线网络任务调度算法	79
4.4.4	模拟实验	81
4.4.5	算法评析	82
4.5	本章小结	83
第 5 章	MMS: 分布式层次化的网格任务监控体系	85
5.1	问题描述	85
5.1.1	网格监控系统的意义	85
5.1.2	网格监控系统的需求	86
5.1.3	网格环境中的监控对象	87
5.1.4	MMS 拟解决的问题	88
5.2	网格监控系统研究现状	88
5.3	MMS 体系结构	89
5.3.1	GMA 简介	90
5.3.2	MMS 体系结构	91
5.4	MMS 有关问题的解决方法	92
5.4.1	利用 MMS 监控任务	93
5.4.2	任务与其进程间的映射	94
5.4.3	监控部件的启动	95
5.4.4	MMS 系统中的安全问题	96
5.4.5	并行应用程序性能分析	96
5.5	监控文件操作的实验及分析	98
5.6	本章小结	100
第 6 章	CBPP: 基于案例及 BP 神经网络的网格并行任务性能预测	101
6.1	问题描述与分析	101
6.1.1	任务执行时间预测的意义	101
6.1.2	主要预测方法	102
6.1.3	使用历史信息预测的参考研究	102
6.1.4	预测对象分析	104
6.2	网格环境中并行任务执行时间预测方法	104
6.2.1	并行任务执行时间影响因素分析	105
6.2.2	CBPP 预测算法	106
6.2.3	基于案例预测	108
6.2.4	利用 BP 神经网络预测	110
6.3	实验分析	113

6.3.1	增加特征模板的实验	113
6.3.2	特征模板一的两种预测类型的对比实验	114
6.3.3	基于案例预测与神经网络预测方法的对比实验	115
6.3.4	CBPP 算法的实验	117
6.4	本章小结	118
第 7 章	基于 D³SM 调度模型的负载平衡和容错技术	119
7.1	网格中的负载平衡与容错概述	119
7.2	网格负载平衡与容错解决策略	120
7.3	术语定义及其功能	121
7.4	扩展的 D ³ SM 调度模型及其平衡容错原理	122
7.5	基于智能代理的平衡和容错机制	125
7.5.1	平衡代理的工作实施	125
7.5.2	代理间通信机制	126
7.6	模拟实验及其结果分析	127
7.7	本章小结	129
第 8 章	调度级的网格不确定性对策及服务质量操控	130
8.1	网格的不确定性和服务质量	130
8.2	网格不确定性与服务质量解决方案分析	131
8.3	基于 D ³ SM 模型的网格不确定性对策	132
8.3.1	D ³ SM 模型的扩展及其对策方案	132
8.3.2	全局调度器的调度修订	134
8.3.3	次序调度的动态调整	138
8.3.4	三种应对资源不确定性方法	140
8.4	可视化服务质量操控	143
8.4.1	调度中的综合服务质量模型	143
8.4.2	可视化调度框架	145
8.4.3	可视化调度的实现	146
8.5	后调度机制	147
8.6	本章小结	147
第 9 章	并行任务的访问与管理授权	149
9.1	网格任务管理中的授权问题概述	149
9.2	并行任务授权研究的目标与参考工作	152
9.3	网格中间件中的授权现状	153
9.4	并行化子任务级授权服务	154
9.4.1	子任务级授权	154

9.4.2 社区策略授权	157
9.4.3 任务管理授权	158
9.4.4 上下文感知授权	159
9.5 实现机制	161
9.5.1 规范扩展	161
9.5.2 用户环境中功能模块实现	163
9.5.3 底层系统的执行机制	163
9.6 PSAS 的相关考虑	165
9.7 本章小结	166
第 10 章 MASSIVE 中网格任务管理系统的实现及应用实例	167
10.1 MASSIVE 中网格任务管理系统设计	167
10.1.1 MASSIVE 中任务管理的需求	167
10.1.2 MASSIVE 中任务管理体系及其功能设计	169
10.2 MASSIVE 中网格任务管理系统实现	173
10.2.1 任务描述界面	173
10.2.2 资源发现界面	174
10.2.3 任务调度界面	174
10.2.4 任务监控界面	176
10.2.5 调度中的 QoS 操控界面	176
10.3 应用实例与评价	178
10.3.1 一个典型实例描述及其运行评价	178
10.3.2 基于 Monte Carlo 高维积分运算简介	183
10.3.3 岩石工程中的二维数值模拟简介	184
10.3.4 固体力学中的三维数值模拟简介	186
10.4 本章小结	187
参考文献	188
附录 计算网格中任务管理的实验环境——MASSIVE 简介	202

第1章 网格计算及其任务管理概述

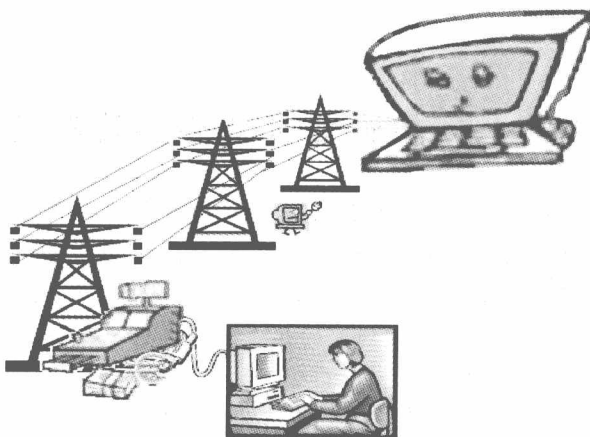
本章介绍了网格计算的背景知识及计算网格任务管理研究内容,如概念、发展、面临的挑战和关键技术等;然后说明了网格中任务管理研究的重要性;接着简述了网格任务管理的相关概念、基本目标与任务、要点及其与其他任务管理系统的差异;最后对计算网格任务管理研究的几个问题进行了说明。

1.1 网格计算简介

随着人类探索自然活动的深度、广度不断拓展,人们迫切需要功能更强、速度更快的计算机系统。同时,一方面制造技术与工艺、体系结构设计在不断推动着单个计算机设备的计算能力增强;另一方面,网络技术的进步已经使得以一种支持有效并发执行的方式汇聚地理上分散的计算资源成为可能。多种现状表明,目前高性能计算正处于重要的转折期,如何用好在摩尔定律下因硬件进步和网络提升带来的汇聚效能,提高计算的效率和生产力,成为业界研究的重中之重。因此,一种新的网络计算模式——基于动态的、异构的和跨域的协同资源共享和问题求解的计算模式应运而生,这便是网格计算(Grid Computing)^[1],也有时简称网格。实际上,无论是“牧村浪潮”^[2]规律的指示结果,还是计算机系统总体结构演变历史的启示,都告诉我们:目前信息技术正在进入一个新的“分”体系的发展阶段,即服务器机群物理上分散到各地,但仍然保持虚拟的单一系统映像。在这个网络计算时代,孤立的计算机系统、软件和应用将被网络化的产品和服务取代。世界将被互联成为一个开放的、一体化的、资源共享的全球计算机网络^[3],即用全球大网格(Great Global Grid)来满足人类日益增强的计算性能的需求。其最高目标是能够如同电力网一样使用网格中的资源,如图 1-1^[4]所示。正是这个远大美好的前景吸引了众多的研究人员投入到网格的研究当中,网格也因此获得了蓬勃的发展,从最初的实验产品演变成为今天科学界和工业界备受关注的技术。

1.1.1 网格计算的概念和意义

网格计算的直接起源为元计算(Metacomputing)^[5],它最早是由 Smarr 和 Catlett 引入的。网格计算的概念是在 I-WAY^[6]项目中首次提出的。虽然对网格计算的研究已经有了很大的进步,但是到目前为止,关于什么是网格计算,还没有一个被普遍接受的定义,关于网格概念的分歧和争议依然存在。那么究竟何谓网

图 1-1 网络的“电力网”工作模式^[4]

格计算? 1998 年, Foster 等在《网络: 一种未来计算基础设施蓝图》^[7]一书中写到: 一个计算网络是一个硬件和软件基础设施, 此基础设施高端计算能力可靠的、一致的、普遍的和昂贵的接入。2001 年在一篇题为《网络剖析》^[1]的文章中, Foster 等提出了社会和策略问题, 指出网络计算关心的是: 在动态的、多机构的虚拟组织中协调资源共享和协同解决问题。其核心概念是: 在一组参与结点(资源提供者和消费者)中协商资源共享管理的能力, 利用协商得到的资源池共同解决一些问题。随后, 人们日渐认识到协议标准化在使异构系统间交互操作和使公共基础设施成为一致化整体中的重要性。由此, Foster 等进一步完善网络定义, 认为网络实际上是满足如下三个条件的系统^[8]:

(1) 协调非集中控制资源。网络整合各种资源, 协调各种使用者, 这些资源和使用者在不同控制域中, 比如, 个人计算机和中心计算机; 相同或不同公司的不同管理单元。网络还解决在这种分布式环境中出现的安全、策略、使用费用、成员权限等问题。否则, 只能算本地管理系统而非网络。

(2) 使用标准、开放、通用的协议和界面。网络建立在多功能的协议和界面之上, 这些协议和界面解决认证、授权、资源发现和资源存取等基本问题。否则, 那只算一个具体应用系统而非网络。

(3) 得到非平凡的服务质量。网络允许它的资源被协调使用, 以得到多种服务质量, 满足不同使用者的需求, 如系统响应时间、流通量、有效性、安全性及资源重定位, 使得联合系统的功效比其各部分的功效总和要大得多。

因此, 我们可以这样认为: 网络就是一个集成的计算与资源环境, 它能够把整个互联网集成为一台巨大的超级计算机, 实现全球范围的计算资源、存储资源、数据资源、信息资源、知识资源、专家资源、设备资源甚至是人才资源等各种相关的

广泛分布的大量资源的全面集成和共享。我们可以认为网格存在如下三方面的含义:

(1) 网格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分自己规划、占有和使用资源。

(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,网络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,将互联网从通信和信息交互的平台提升到资源共享的平台。但是目前并行计算、分布计算、中间件等现行技术远远没有解决多组织之间资源的共享问题,以及广域范围的多系统之间联合处理和计算等网格计算所面临的关键问题。因此,网格计算技术研究具有独特性、紧迫性和挑战性。

(3) 网格是一种基础设施——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。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,无需在用户端配套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。

网格概念将根本地改变人们对“计算机应用”的看法,这是一种全新的、便捷的计算方式,能轻松实现目前解决不了的更加复杂的问题。网格是借鉴电力网概念提出来的,网格的最终目标是希望用户在使用网格时,就如同现在使用电力一样方便。建设网格的意义如下:

(1) 解决计算能力的限制。网格可以联合并放大全社会的计算能力,这是目前无法想象的。

(2) 解决地理位置的限制。把“全社会的计算能力”送到你的桌面。

(3) 节约资源。现今的计算资源利用率远不充分,很多应用又缺乏资源。网格不仅可以把“资源”送到你的桌面,更可以把“应用”放到网格中完成,连“桌面”都可以节省了。

(4) 网格打破了传统共享与协作方面的限制。网格以“虚拟组织”的方法,实现了全社会范围的资源共享与服务协作。

1.1.2 网格计算的发展过程与趋势

网格是以电网作为比拟的对象而开始建立和发展的,也就是说,类似电网的使用状况即为网格计算的目标所求。那时,用户只要把设备的插头插入网格的“插座”就可使用网格中的资源。虽然现在的网格计算离此目标还相距甚远,但它在应用需求与学术研究的推动下已经不断发展、丰富和完善,比起最初的并行虚拟机、元计算等,可以说是发展迅猛。到目前为止,一般认为它经历了三个阶段^[9]。

第一阶段是萌芽期:20 世纪 90 年代早期,主要是千兆网的实验床以及一些元计算实验。

第二阶段是实验期:20 世纪 90 年代中晚期,比如 I-WAY^[6]项目,学术性研究项目 Globus^[10]、Legion^[11]以及一些应用。

第三阶段是发展期:21 世纪以来,出现了大量的网格计算项目,出现了影响很大的组织——全球网格论坛 GGF(Global Grid Forum)^[12]。同时网格计算也不再仅仅局限于科学研究,工业界与学术界联盟正致力于使网格计算在更广泛的领域得到发展、推广和应用。

David 等^[13]把网格按照技术发展的顺序分为:1995 年以前的网格——把超级计算机结点连接起来以提供高性能计算服务,代表项目有 FAFNER^[14]和 I-WAY 等;1995~2000 年的网格——以开发支持大规模数据和计算的中间件为目标,以建构面向协议和模块的网格体系结构为中心,代表项目有 Globus、Legion 等;2000 年至今的网格——以建立面向服务的网格结构为特征,代表体系为开放网格服务结构 OGSA^[15],典型基础设施为 OGSi(Open Grid Services Infrastructure)^[16]和 WSRF(Web Services Resource Framework)^[17]。如图 1-2 所示。

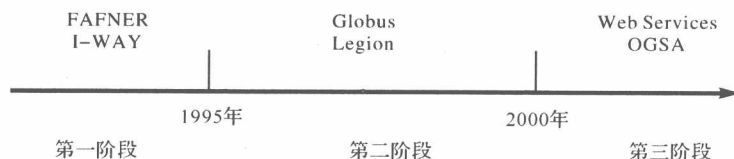


图 1-2 网格技术的发展阶段示意图

目前,网格已经成为全球的研究热点,发展网格被认为是下一代互联网的核心任务之一。从网格技术发展的总体来看,其趋势如下:

(1) 标准化趋势。2004 年 1 月,Web Services 标准与 OGSA 标准的融合——WSRF 框架被提出来了,将发展成为未来的网格新标准。

(2) 技术融合趋势。Globus 项目组看到了 Web Services 的巨大潜力,在 2002 年迅速将 Globus Toolkit 的开发转向了 Web Services 平台,试图用 OGSA 在网格世界一统天下。基于 OGSA 之后,网格的一切对外功能都以网格服务(Grid Service)来体现,并借助一些现成的、与平台无关的技术,如 XML、SOAP、WSDL(Web Services Description Language)、UDDI 等,来实现这些服务的描述、查找、访问和信息传输等功能。这样,一切平台及所使用技术的异构性都被屏蔽。用户访问网格服务时,根本就无需关心该服务是 CORBA 提供的,还是 .Net 提供的。

(3) 大型化趋势。美国政府投入巨资实施面向全美多种领域应用的网格计划。IBM 在 2001 年 8 月宣布,将投入 40 多亿美元进行“网格计算创新计划(Grid

Computing Initiative)”,推行其全球网格战略,并成为 Globus 的首席合作伙伴,积极参与网格计算标准制定(如 OGSA 标准)。我国也拨出了上亿元研发国家网格“ChinaGrid”。可见网格发展的国家化、全球化趋势。

2000 年,Web Services 标准一经提出,就因其广泛的 Web 工业基础,立刻受到在科研领域中网格研究最成功的 Globus 项目的关注,结合为 OGSA 标准,并逐步演化重构为网格资源框架 WSRF,这一框架于 2004 年初被提出来。目前基于此框架的研究工作正如火如荼地在全球范围内开展起来。

1.1.3 国内外的网格计算项目简介

网格计算的重要战略意义及其广阔应用前景,使其成为当今吸引众多研究人员和巨大资金投入的研究热点。继学术界之后,各国政府和商业界也分别启动了一系列的研究项目。

美国政府从 10 年前就开始投资相关研究。1992 年,美国开始实施高性能计算方面的 HPCC 计划,并投入巨资研究解决“巨大挑战问题”的环境、方法和技术,累计使用的基础研究经费已近 5 亿美元。美国军方更为积极,美国国防部已在规划实施一个宏大的计划,称为“全球信息网格(Global Information Grid)”,预计在 2020 年完成。作为这个计划的一部分,美国海军和海军陆战队已先期启动一个 160 亿美元的 8 年项目,包括系统的研制、建设维护和升级。英国政府已决定投资 1 亿英镑,用来建设“英国国家网格”。韩国政府也已正式宣布建立第三代网络基础之国家网格基本计划,计划在 5 年内把分散的高性能计算机通过网络连接起来并加以利用。

世界主要 IT 厂商为获取该领域的控制权也展开了积极的竞争。其中,IBM 公司立志要做网格技术的先锋。除了 IBM 启动“网格计算创新计划”外,其他公司也不甘示弱。Sun 公司宣布推出新的 Grid Engine 5.3 软件的 Beta 测试版,该软件使企业内的计算机的连接更为方便。Sun 目前也已启动了以 Grid Engine 分布式资源管理软件为基础的开放源代码战略。Microsoft 的研究部门也积极参与相关项目,包括容错远程文件系统 Farsite 和分布式系统 Millenium 的建设。而在对等计算领域,Intel 是最热心的“鼓吹者”,这是因为 CPU 是 Intel 的主要收入来源和核心竞争力所在,而对等计算技术的主要用途之一是充分挖掘连接在网络上的成千上万个 PC 的处理能力和存储能力,以处理一些从前需要大型机、甚至超级计算机才能承担的任务。此外,Sun 也在积极推动对等计算规范(如 JXTA)的制订。

相比之下,中国的研究起步较晚,相关工作开始于 1998 年。由于网格计算是一项刚起步的研究,因此在关键技术的研究方面与国外差距不大,基本处于相同的起跑线上。目前,我国的研究主要集中于中科院计算所、华中科技大学、国防科

技大学、江南计算所、清华大学、西安交通大学、浙江大学和中国科技大学等几家在高性能计算方面有较强实力的研究单位。

目前国际上有影响的几个网格计算研究项目如下:

(1) Globus^[10]是美国阿岗国家实验室的研发项目,全美有 12 所大学和研究机构参与了该项目。Globus 的主要研究目标有两个,一是网格技术的研究,涉及资源管理、安全、信息服务及数据管理等网格计算的关键理论;二是相应软件的开发和标准的制定,具体成果是能在各种平台上运行的网格计算工具软件 (Tool-Kit),开发适合大型系统运行的大型应用程序。Globus 项目还涉及网格应用的开发及实验床的建立,帮助规划和组建大型的网格实验平台。

Globus 的新近发展是由 Globus 组织和 IBM 在 2002 年 12 月于多伦多举行的全球网格论坛会议上发布的开放网格服务体系 OGSA。OGSA 汇聚了万维网服务和网格计算的成果,它将服务定义为一个网络使能的实体,提供对计算资源、存储资源、网络、程序和数据库等的访问。OGSA 中使用的万维网服务标准包括 SOAP^[18]、WSDL^[19]和 WSIL^[20]等。引入万维网服务后,OGSA 可支持异质环境中服务的发现和组合。

(2) Legion^[11]是弗吉尼亚大学的研究项目,是面向对象技术在网格计算领域应用的重要实例,支持透明的调度、数据管理、容错、站点自治和各种安全选项。它将网格计算环境视为一个世界范围的抽象计算机,其设计目标是让用户在 Legion 环境中感觉到只存在“一台”大的计算机,而网格计算用户在这台大计算机上进行程序设计。在 Legion 中,一切都是“对象”,Legion 规定了对象交互的消息格式与高级协议,通过对象的一组方法描述其接口,但是对编程语言和具体的通信协议没有规定。Legion 的体系结构,允许用户提供自己的类对象来改变系统级的对象支持机制,它也定义了核心对象的接口和基本的功能,用于支持系统的基本服务。然而,面向对象方法也面临一些问题,例如很难支持与遗留应用和服务的交互。

(3) Condor^[21]项目开发、部署和评估支持在大规模分布资源集合上进行高吞吐计算的机制和策略。Condor 环境采用分层体系,支持串行和并行应用。Condor 中的资源提议和请求通过其分类公告语言 ClassAd 描述。ClassAd 使用半结构化数据模型描述资源,提供相应的查询语言以允许公告发布方在资源提议或请求中说明约束条件。Condor 可视为平板结构的计算网格。它使用采纳了混合名字空间的可扩展模式,其存储信息的网络目录未采用 X.500 或 LDAP 技术。资源发现基于资源信息周期性的“推”发布和集中式的查询,其调度器是集中式的。Condor 不支持服务质量保障。

(4) Nimrod-G^[22]是一个网格资源代理,由 4 个关键构件组成:任务管理引擎、调度器、分派器和智能主体。任务管理引擎支持插入用户自定义的调度器、定

制应用或问题解析环境。分派器使用 Globus 服务将 Nimrod-G 智能主体部署到远程资源上以管理分派任务的运行。Nimrod-G 调度器则可根据用户服务质量需求中说明的能力、费用和可用性等租借适合的资源和服务。Nimrod-G 支持资源的发现、选择、调度与用户任务在远程资源中的透明运行。Nimrod-G 相关的研究成果还包括一个称为 GridSim^[23] 的工具集,提供复杂的设施以支持网格资源和应用调度的建模和模拟,可用于评估调度算法的性能。

(5) 应用级调度项目 AppLeS(Application Level Scheduling)^[24]着重研究和开发在计算网格中调度单个应用的智能主体。AppLeS 智能主体根据应用和系统信息选择一组可行的资源集,并通过其他资源管理系统运行应用任务。AppLeS 框架包含支持参数化类型应用和 Master/Worker 类型应用的模板,允许在智能主体中重用应用相关的调度器。AppLeS 智能主体嵌入到应用中以在网格计算环境中进行资源调度,因而,对应用而言,将作业映射到资源的调度是集中式的,但实际运行应用的各个任务则由本地的资源调度器负责。

(6) NetSolve^[25]是一个网格应用工具,提供基于远程过程调用的数值计算编程环境。它由三个部分组成:服务的请求者、服务调度与维护者以及服务的提供者。NetSolve 提供了独立于实现语言的计算表达语言,客户端使用该语言表达请求并提交给 NetSolve 智能主体,该智能主体将该请求交给合适的计算资源去处理,相应的负载平衡策略支持尽可能高效地使用计算资源,以确保高性能。

(7) DataGrid^[26]项目的基本思想是把生成的海量数据分散到全球的计算机上进行处理,并由全球的物理学家共同进行分析。其核心中间件系统基于 Globus 构造。DataGrid 的主要功能包括:负载调度和管理,以适应数据的动态重新分配、高并发的任务数和不同国家或机构的不同管理策略等;数据管理,以支持统一的名字空间和统一的数据格式、数据的高速移动和复制、远程数据复制实例的一致性等;系统监控,以协助制订调度策略、调整应用程序的运行性能;构造层管理,对数量众多的基础构件提供灵活和有弹性的管理,满足严格的时间约束条件,保证整个系统的容错性;海量存储管理,用统一的接口屏蔽不同站点的数据存储方式和处理方式之间的差异,无缝融合分布的存储资源。

(8) 德国联邦教育和研究部的 UNICORE(Uniform Interface to Computing Resources)^[27],主要合作者为德国的 5 家研究机构。它的目的是提供一套软件,允许用户给远程高性能计算机提交自己的任务,而不需要知道远程机器的操作系统、数据存储格式、管理策略和过程。它最大可能地使用已有的万维网技术。它为终端用户和计算中心都提供了强大的运行网格的功能,具体有:简单方便的任务创建和控制;支持多系统和多点任务;动态流控制;通过 X.509 证书集成安全;访问远程文件存储和档案;支持科研和商业应用。用户接口语言用 Java,工具用浏览器,授权用户可以通过接口访问任何地方的 UNICORE 资源。对于