

Service-oriented Grid Computing
A New Distributed Computing Architecture and Middleware

面向服务的网格计算

——新型分布式计算体系与中间件

Service-oriented Grid Computing:

A New Distributed Computing Architecture and Middleware

许 骏 柳泉波 著
李玉顺 王冬青 史美林



科学出版社

www.sciencep.com

面向服务的网格计算

——新型分布式计算体系与中间件

Service-oriented Grid Computing:

A New Distributed Computing Architecture and Middleware

许 骏 柳泉波 李玉顺 王冬青 史美林 著

国家自然科学基金项目(90412009,70671044)

广东省科技攻关计划项目(2006B15001004)

资助

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是国家自然科学基金项目(90412009,70671044)和广东省科技攻关计划项目(2006B15001004)的研究成果之一,从理论模型、关键技术与示范工程等方面介绍了作者及其研究团队近年来在网格计算领域所做的工作和取得的成果。

全书内容分为3篇共10章。第一篇面向服务的网格计算,论述网格体系结构和面向服务的网格中间件,重点讨论资源管理、任务调度、数据管理、 workflow管理、网络安全等共性服务和中间件技术。第二篇高级网格服务,讨论P2P与网格、语义与知识网格、连续媒体服务和协同工作服务等。第三篇教育服务网格示范工程,讨论 LAGrid 系统体系结构设计以及资源管理与调度、信息服务、消息中间件、服务聚合、动态数据聚合、安全、资源共享与协同工作等核心中间件的原理与技术。

本书可供从事计算机科学与技术、信息与通信工程等相关专业的科技人员参考,也适合高等学校计算机、电子、信息与通信等相关学科专业的教师和研究生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

面向服务的网格计算:新型分布式计算体系与中间件/许骏等著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-024202-0

I. 面… II. 许… III. ①计算机网络-网格计算-研究 ②分布式系统-研究 IV. TP393 TP338.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 030889 号

责任编辑:王淑兰/责任校对:刘彦妮

责任印制:吕春珉/封面设计:三函设计

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009年5月第一次印刷 印张:22 3/4 插页:1

印数:1—2 000 字数:538 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62130750

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

前 言

网络是高性能计算和信息服务的战略性基础设施,也是计算机网络与分布式系统研究的前沿问题之一。网络能实现广域计算资源、数据资源和服务资源的有效聚合与按需共享,支持以大规模计算、数据密集处理和群组协同工作为特征的应用,为信息资源的获取、传输和有效利用带来了重大变化,深刻地影响乃至改变科学研究的方式以及人们学习、工作和生活方式。随着网络与服务计算的发展与融合,面向服务的网络计算已经成为一个重要的研究领域。中间件在构建网络系统中的地位与作用日益凸现,面向服务的网络中间件已成为当前的研究重点与难点。

当前计算机应用的网络化、服务化、虚拟化趋势越来越明显,人们面对面向服务体系结构的关注持续升温,SaaS(Software as a Service)成为互联网的一种新型商业模式。进入 21 世纪,现代服务业领域的竞争已成为世界经济发展的新焦点,加快发展现代服务业是我国发展的战略重点之一,《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020 年)》将“现代服务业信息支撑技术及大型软件”列为重点领域的优先发展主题。可以预见,在未来 3~5 年,现代服务业将在信息产业中占据举足轻重的位置。正是在这样的大背景下,现代服务业共性技术支撑体系与应用示范成为当前的重大研究课题,其主要任务是研究开发面向现代服务业的共性关键技术、通用核心服务中间件以及应用集成构架,建设开放、安全、可靠、支持行业示范应用的网络研究综合试验平台,并面向电子商务、电子政务、现代物流、数字媒体、网络教育以及数字社区等领域建立示范工程,这是一个充满挑战与机遇的新研究领域。面向服务的网络计算技术对现代服务业具有重要的支撑与推动作用,因此,对这一领域的研究完全有理由值得期待!

在国家自然科学基金(项目批准号:90412009)的支持下,我们在国内较早开展基于网络环境的协同工作理论与关键技术研究,在协同服务、协作感知、网络工作流等取得重要阶段性成果,在面向服务的网络应用研究取得突破性进展,示范工程 LAGrid 填补了国内 e-Learning Grid 研究的空白,被誉为“我国网格技术教育应用研究的重大进展”^①,部分研究工作跻身国际先进水平^②。感谢评审专家对我们研究工作的肯定和鼓励。2006 年初我们承担了广东省科技攻关计划项目——教育服务网络关键技术与示范工程(批准号:2006B15001004),以具有典型示范意义和行业带动性的教育服务网络为背景,重点突破体系结构、核心中间件、流媒体服务、协议与安全机制等关键技术。网格技术在科学研究领域的应用最早也最为成功,对等科研协作网络是网络环境下科学研究活动的重要形态与模式,我们承担了另一项国家自然科学基金资助项目——对等科研协作网络研究(批准号:70671044)。网格计算要真正成为解决实际问题的有效手段,研究工作必须加强与应

① 余冠仕,我国网格计算技术教育应用研究取得重大进展。中国教育报:2005-4-1(1)。

② 面向 e-Learning 的网格支撑环境与关键技术——LAGrid 远程学习评价网络。科技成果鉴定证书:鉴字[教 NF2004]第 020 号。

用行业和产业部门的合作,构建为地方支柱行业发展服务的平台。为此,我们与广州电子集团有限公司、广州无线电研究所共同承担了广州市科研条件建设项目——网格支撑平台与中间件技术研究(批准号:穗科条[2007]17-02)。

在上述项目研究成果的基础上,本书从理论模型、关键技术与示范工程等方面介绍了研究团队在网格计算研究领域所做的一些工作和取得的新进展,同时借鉴吸收了国内外同类研究的最新成果,体现了当前国际同类研究的前沿。

本书由许骏、柳泉波、李玉顺、王冬青、史美林著,王桂玲、杨胜文、苗春雨参加了服务聚合中间件、LAGrid 安全体系、任务调度以及消息中间件等部分内容的撰写,全书由许骏、柳泉波定稿。本书写作过程中参阅了大量国内外文献资料,我们尽可能详细地注明了这些文献的出处,以方便读者查阅,在此,对这些文献的作者表示感谢。

面向服务的网格计算研究是一个新课题,内容涉及计算机网络与分布式计算的一些前沿技术。这些决定了本书具有明显的探索性和试验性,它的稚嫩也就难以避免。网格到底是什么?这个问题一直困扰着我们,促使我们不断地去思考、探索与实践,对一些问题思考与探索的初步结果反映在本书及我们撰写的其他学术论文当中。尽管这些看法和想法未必高明,但都是实践之后的真实体会,就像农民在秋收后和朋友们一起谈论耕耘与收获。在本书即将付梓之际,愿借此书抛砖引玉,与同行进行交流,“嘤其鸣矣,求其友声”,这就是我们的肺腑之言。由于我们的学识与能力有限,从事这一新领域研究的时间比较短,加上网格计算技术发展很快,很多新东西我们并不熟悉,在很多问题上只能说是一孔之见,书中不妥和错误之处在所难免,我们诚恳地期待各位专家和读者朋友不吝指教和帮助,对此,我们深为感激。

这些年我们研究团队一路走来,似乎不曾有过“我们走在大路上”的豪迈,更多的是如履薄冰、如临深渊的感觉,毕竟这不是一件容易的事情。学术研究是一种艰辛的劳作,要靠年复一年的积累,成果孕育在日以继夜的潜心研究之中。现在,凝聚着研究团队全体成员智慧和汗水的这部专著即将由科学出版社出版,这是对我们共同努力的最好纪念,也是我们之间友情的最好见证。我长期主持集体研究项目,对团队精神和集体荣誉感体会最深,项目研究成果是集体智慧的结晶,是依靠团队力量集体攻关取得的。一个人只能做一点事情,一个团队才能干一番事业。作为团队负责人,我衷心感谢大家的理解、信任和支持,以及为项目研究做出的重要贡献。我认为,研究成果固然重要,但团队成员之间的友谊更加珍贵;一项成果也许领先不了多长时间,但友谊地久天长。借此机会,我向我的团队同事朋友们送上最真诚的祝福,祝愿大家在漫漫人生路上,吉祥如意,花好月圆,拥有健康的身心、成功的事业和美好的人生。

中央广播电视大学网络中心李国斌主任、广州无线电研究所许德兴所长、广州联电集团有限公司卢永宁总工程师等为项目示范工程研发做了大量工作,还有很多同志以不同方式为项目研究做出了贡献,在此谨表示衷心的感谢。

我们指导的研究生也参加了本项目研究工作,他们在讨论会上的出色表现和参与课题研究的敬业精神,让我认识到“教学相长”的真谛,体会到教师职业的价值与乐趣。

许 骏

2009年春于广州华南师范大学

目 录

第一篇 面向服务的网格计算

第 1 章 从元计算到面向服务的网格计算	3
1.1 网格定义	3
1.2 网格的发展阶段	5
1.3 与网格计算相关的研究领域	8
1.3.1 分布式系统	8
1.3.2 公用计算和按需计算	9
1.3.3 云计算	10
1.4 网格相关组织	10
1.4.1 标准化组织	11
1.4.2 典型应用	13
第 2 章 网格体系结构	16
2.1 五层沙漏模型	16
2.2 面向服务的体系架构 SOA	18
2.2.1 基本概念	18
2.2.2 实现平台	20
2.3 Web 服务	21
2.3.1 Web 服务协议栈	21
2.3.2 SOAP 消息协议	26
2.3.3 服务描述语言	27
2.3.4 服务发布与发现	28
2.3.5 服务安全和事务	31
2.3.6 服务编排与编舞	33
2.3.7 Web 服务互操作	38
2.4 开放网格服务体系结构 OGSA	38
2.4.1 网格服务	40
2.4.2 Web 服务资源框架 WSRF	42
2.4.3 OGSA 核心服务	46
第 3 章 面向服务的网格中间件	49
3.1 中间件技术	49
3.1.1 分布式中间件	49
3.1.2 网格中间件	54
3.2 资源管理	55

3.2.1 资源管理系统	55
3.2.2 任务调度	58
3.2.3 网格资源管理系统	75
3.3 数据管理	78
3.3.1 数据传输	78
3.3.2 数据复制和副本管理	81
3.4 workflow管理	82
3.4.1 workflow设计	83
3.4.2 workflow调度	84
3.4.3 网格workflow管理系统	86
3.5 网络安全	88
3.5.1 问题定义	88
3.5.2 网络安全体系	95
3.5.3 网格授权系统	97
3.5.4 证书管理系统	98
3.6 网格监控与管理	100
3.6.1 网格监控体系结构	100
3.6.2 网格监控工具和系统	100
3.6.3 网格门户	102

第二篇 高级网格服务

第4章 P2P与网格计算	107
4.1 P2P系统资源发现	108
4.1.1 结构化P2P系统	108
4.1.2 非结构化P2P系统	116
4.2 P2P网格资源发现	118
4.2.1 结构化系统	119
4.2.2 非结构化系统	122
4.2.3 基于树向量的动态资源发现	124
第5章 语义网格与知识网络	127
5.1 语义Web	130
5.1.1 元数据和RDF	131
5.1.2 本体和OWL	137
5.1.3 本体工程	140
5.2 语义Web服务	143
5.2.1 Web服务语义标注语言	143
5.2.2 服务发现和语义匹配	148
5.3 相关研究	153
5.3.1 语义网格研究项目	153

5.3.2 知识网格研究项目	156
第6章 连续媒体服务	159
6.1 多媒体压缩技术	159
6.1.1 MPEG-4 视频标准	160
6.1.2 H.264/AVC 标准	161
6.2 媒体服务器	162
6.2.1 多媒体文件系统	163
6.2.2 应用层 QoS 保证	165
6.3 连续媒体分发服务	166
6.3.1 通信协议	166
6.3.2 媒体分发方式	167
6.3.3 基于无线网络的流媒体	169
第7章 协同工作服务	171
7.1 计算机支持的协同工作	171
7.1.1 协同工作机理	171
7.1.2 计算机支持技术	172
7.2 协同工作环境	173
7.2.1 协同工作环境框架	174
7.2.2 基于网格的协同工作环境	179
7.3 协作感知	184
7.3.1 基本概念	184
7.3.2 感知模型及其实现机制	185
7.4 协作上下文	186
7.4.1 基本概念	186
7.4.2 基于本体的协作上下文建模	188
7.5 对等科研协作网络	191
7.5.1 问题描述	191
7.5.2 研究进展	193

第三篇 教育服务网格示范工程

第8章 教育服务网格	201
8.1 数字化学习支撑环境	201
8.1.1 数字化学习技术	201
8.1.2 数字化学习平台	214
8.2 e-Learning Grid	218
8.2.1 e-Learning Grid 的概念	218
8.2.2 e-Learning Grid 研究现状与发展趋势	222
8.2.3 从 e-Learning Grid 到教育服务网格	224
8.3 教育服务网格体系结构	227

8.3.1	基本面向服务体系结构层	228
8.3.2	网格中间件层	228
8.3.3	公共服务层	230
8.3.4	领域应用层	232
第 9 章	远程学习评价网格 LAGrid	233
9.1	LAGrid 简介	233
9.1.1	远程教育的学习评价问题	233
9.1.2	LAGrid: 基于网格的远程学习评价系统	234
9.2	LAGrid 体系结构	238
9.2.1	LAGrid 领域服务和应用	239
9.2.2	从领域服务到网格基础设施的映射	241
9.3	LAGrid 部署、监控和管理	242
9.3.1	网格运行环境	242
9.3.2	网格扩展机制	243
9.3.3	网格系统监控与管理	245
9.4	网格环境资源访问的 QoS 问题	246
第 10 章	LAGrid 核心中间件	249
10.1	资源管理与调度	249
10.1.1	资源管理框架	249
10.1.2	资源调度算法	250
10.2	信息服务	255
10.2.1	LAGrid 信息服务	256
10.2.2	LAGrid 信息模型及其实现	257
10.3	消息中间件	260
10.3.1	面向服务的消息中间件	261
10.3.2	LAGrid-MOM 体系结构模型	262
10.3.3	LAGrid-MOM 的实现及应用	264
10.4	服务聚合	269
10.4.1	服务聚合的概念	269
10.4.2	LAGrid 服务聚合模型	271
10.5	动态数据聚合	273
10.5.1	动态数据聚合模型	273
10.5.2	LAGrid 动态数据聚合服务	276
10.6	安全	278
10.6.1	数字化学习的安全问题	278
10.6.2	网络安全	279
10.6.3	LAGrid 安全体系	280
10.7	资源共享	287
10.7.1	数字化学习资源共享	287

10.7.2 LAGrid 学习资源共享环境	292
10.8 协同工作	299
10.8.1 协作感知服务	299
10.8.2 三维协作感知模型	302
10.8.3 面向网格的协作感知语言 GOCAL	304
10.8.4 GOCAL 协作感知运行时的实现	312
10.8.5 人-系统-人协同工作环境	315
参考文献	318

Table of Contents

Part 1 Service-oriented Grid Computing

Chapter 1 From Metacomputing to Service-oriented Grid Computing	3
1.1 Definitions of Grid Computing	3
1.2 Origins and History of Grid Computing	5
1.3 Relationship between Grid Computing and Other Types of Computing	8
1.3.1 Distributed Computing	8
1.3.2 Utility Computing and On-demand Computing	9
1.3.3 Cloud Computing	10
1.4 Grid Organizations and Applications	10
1.4.1 International Standards Organizations	11
1.4.2 Typical Grid Applications	13
Chapter 2 Grid Architectures	16
2.1 Five-level Hourglass Model Architecture	16
2.2 Service-oriented Architecture	18
2.2.1 Basic Concepts	18
2.2.2 Implementation Platforms	20
2.3 Web Service	21
2.3.1 Web Service Protocol Stack	21
2.3.2 SOAP Messaging Framework	26
2.3.3 Web Service Description Language	27
2.3.4 Web Service Publication and Discovery	28
2.3.5 Security and Transactions	31
2.3.6 Web Services Orchestration and Choreography	33
2.3.7 Web Services Interoperability	38
2.4 Open Grid Services Architecture	38
2.4.1 Grid Service	40
2.4.2 Web Services Resource Framework	42
2.4.3 OGSA Services	46
Chapter 3 Service-oriented Grid Middleware	49
3.1 Middleware Technology	49
3.1.1 Distributed Middleware	49
3.1.2 Grid Middleware	54
3.2 Resource Management	55

3.2.1	Resource Management Systems	55
3.2.2	Task Scheduling	58
3.2.3	Grid Resource Management Systems	75
3.3	Data Management	78
3.3.1	Data Transmission	78
3.3.2	Data Replication	81
3.4	Workflow Management	82
3.4.1	Workflow Design	83
3.4.2	Workflow Scheduling	84
3.4.3	Grid Workflow Management Systems	86
3.5	Grid Security	88
3.5.1	Problem Statement	88
3.5.2	Grid Security Infrastructure	95
3.5.3	Grid Authorization Systems	97
3.5.4	Certificate Management Systems	98
3.6	Grid Monitoring and Management	100
3.6.1	Grid Monitoring Architecture	100
3.6.2	Grid Monitoring Systems	100
3.6.3	Grid Portal	102

Part 2 Advanced Grid Services

Chapter 4	Peer-to-Peer and Grid Computing	107
4.1	Resource Discovery in P2P Systems	108
4.1.1	Structured P2P Systems	108
4.1.2	Unstructured P2P Systems	116
4.2	P2P Systems for Grid Resource Discovery	118
4.2.1	Structured Systems	119
4.2.2	Unstructured Systems	122
4.2.3	A Tree-based P2P Discovery System	124
Chapter 5	Semantic Grid and Knowledge Grid	127
5.1	Semantic Web	130
5.1.1	Metadata and RDF	131
5.1.2	Ontology and OWL	137
5.1.3	Ontology Engineering	140
5.2	Semantic Web Service	143
5.2.1	Web Service Annotation	143
5.2.2	Semantic Matching to Achieve Web Service Discovery	148
5.3	Relative Work	153
5.3.1	Semantic Grid Projects	153

5.3.2	Knowledge Grid Projects	156
Chapter 6	Continuous Media Service	159
6.1	Multimedia Compression Techniques and Standards	159
6.1.1	MPEG-4 Video Standard	160
6.1.2	H. 264/AVC Standard	161
6.2	Media Server	162
6.2.1	Multimedia File System	163
6.2.2	Application-level QoS Guarantee	165
6.3	Continuous Media Delivery	166
6.3.1	Communication Protocols	166
6.3.2	Media Delivery Methods	167
6.3.3	Continuous Media Delivery over Wireless Networks	169
Chapter 7	Cooperative Work Service	171
7.1	Computer Supported Cooperative Work	171
7.1.1	Theories of Cooperative Work	171
7.1.2	Enabling Technologies for CSCW	172
7.2	Cooperative Work Environment	173
7.2.1	Framework for Cooperative Work Environment	174
7.2.2	Grid-enabled Collaboration Environment	179
7.3	Cooperative Awareness	184
7.3.1	Definitions of Cooperative Awareness	184
7.3.2	Models of Awareness	185
7.4	Cooperative Context	186
7.4.1	Introduction to Cooperative Context	186
7.4.2	Ontology-based Context Modelling	188
7.5	Peer-to-Peer Scientific Collaboration Networks	191
7.5.1	The Problem	191
7.5.2	Research in Progress	193

Part 3 Educational Service Grid

Chapter 8	Educational Service Grid	201
8.1	e-Learning Environment	201
8.1.1	e-Learning Technologies	201
8.1.2	e-Learning Platform Architectures	214
8.2	e-Learning Grid	218
8.2.1	Introduction to e-Learning Grid	218
8.2.2	e-Learning Grid Research: State of the Art and Future Directions	222
8.2.3	From e-Learning Grid to Educational Service Grid	224
8.3	The Architecture of Educational Service Grid	227

8.3.1	SOA Infrastructure Layer	228
8.3.2	Grid Middleware Layer	228
8.3.3	Common Service Layer	230
8.3.4	Domain-specific Application Layer	232
Chapter 9	Distance Learning Assessment Grid	233
9.1	Introduction to LAGrid	233
9.1.1	Learning Assessment Problem of Distance Education	233
9.1.2	LAGrid: Grid-based Learning Assessment System	234
9.2	LAGrid Architecture	238
9.2.1	Domain-specific Services and Applications	239
9.2.2	Mapping Domain Applications to Grid Infrastructures	241
9.3	LAGrid Deployment, Monitoring and Management	242
9.3.1	Running Environment	242
9.3.2	LAGrid Scalability	243
9.3.3	Monitoring and Management	245
9.4	Resource Access QoS in LAGrid	246
Chapter 10	LAGrid Middlewares	249
10.1	Resource Management and Scheduling	249
10.1.1	Resource Management Framework	249
10.1.2	Resource Scheduling Algorithms	250
10.2	Information Service	255
10.2.1	LAGrid Information Service	256
10.2.2	Information Model and Its Implementation in LAGrid	257
10.3	Message Oriented Middleware	260
10.3.1	Service-oriented MOM	261
10.3.2	Architecture of LAGrid-MOM	262
10.3.3	Implementation and Application of LAGrid-MOM	264
10.4	Service Aggregation	269
10.4.1	Introduction to Service Aggregation	269
10.4.2	Service Aggregation Model in LAGrid	271
10.5	Dynamic Data Aggregation	273
10.5.1	Dynamic Data Aggregation Model	273
10.5.2	Dynamic Data Aggregation Service in LAGrid	276
10.6	Security	278
10.6.1	e-Learning Security	278
10.6.2	Grid Security	279
10.6.3	LAGrid Security Architecture	280
10.7	Resource Sharing	287
10.7.1	Sharing of e-Learning Resources	287

10.7.2	LAGrid Services for e-Learning Resource Sharing	292
10.8	Cooperative Work	299
10.8.1	Cooperative Awareness Service in GLCE	299
10.8.2	A Three Dimension Cooperative Awareness Model	302
10.8.3	Grid-oriented Cooperative Awareness Language	304
10.8.4	Implementation of Cooperative Awareness Runtime in GOCAL	312
10.8.5	Human-System-Human Cooperative Work Environment	315
References		318

插图目录

图 1.1	Internet 的演变	3
图 1.2	网格发展的三个阶段	5
图 1.3	I-WAY 系统和 I-POP 节点的构成	6
图 1.4	网格、公用计算与按需计算之间的关系	10
图 1.5	与网格相关的组织机构	11
图 1.6	美国 FusionGrid 分布图	14
图 2.1	五层沙漏模型	16
图 2.2	软件开发复用模式的演变	18
图 2.3	服务接口和具体实现的关系	18
图 2.4	SOA 的语言、平台和厂商无关性	19
图 2.5	SOA 模型	20
图 2.6	SOA 实现平台的基本组成	20
图 2.7	服务组合示例	21
图 2.8	Web 服务协议栈	22
图 2.9	端点引用结构	23
图 2.10	最新的端点引用结构	23
图 2.11	消息信息头的结构	23
图 2.12	消息信息头结构与 SOAP 消息的关系	24
图 2.13	SOAP 消息的结构	26
图 2.14	WSDL 文档结构	27
图 2.15	WSDL 与 SOAP 绑定的代码例子	28
图 2.16	发布 Web 服务的两种方式:UDDI 和 WSIL	28
图 2.17	UDDI 信息模型	29
图 2.18	从 WSDL 到 UDDI 的映射	30
图 2.19	UDDI 和 SOAP	30
图 2.20	服务发布:WSIL 文档	31
图 2.21	WS-Security 协议族	31
图 2.22	基于 WS-Coordination 的集中式协调流程	33
图 2.23	BPEL 例子	35
图 2.24	定义变量	35
图 2.25	定义业务过程	36
图 2.26	WS-CDL 规范的核心语言成分	37
图 2.27	WS-CDL 活动	37
图 2.28	Web 服务体系结构	38
图 2.29	OGSA 体系结构	39
图 2.30	网格服务的结构示意图	40
图 2.31	OGSI 的层次结构	41

图 2.32 网络服务、OGSA、OGSI、GT3 和 Web 服务的关系	42
图 2.33 Web 服务资源框架 WSRF 的组成	42
图 2.34 基于 WSRF 的 OGSA 体系结构	43
图 2.35 GT4 体系结构	43
图 2.36 信息服务 MDS4	45
图 2.37 OGSA 资源管理级别	47
图 3.1 中间件技术分类和发展过程	49
图 3.2 RPC 工作流程	50
图 3.3 CORBA 工作原理	51
图 3.4 消息中间件传输模式:点到点和订阅-发布	52
图 3.5 J2EE 分层结构	53
图 3.6 资源管理系统抽象模型	55
图 3.7 JSDL Schema	56
图 3.8 资源信息存储模式分类	57
图 3.9 Min-min 算法	62
图 3.10 Suffrage 算法	62
图 3.11 禁忌搜索算法	64
图 3.12 短跳过程伪代码	65
图 3.13 HEFT 算法示例	66
图 3.14 HEFT 算法示例的求解结果	68
图 3.15 TDS 算法示例	69
图 3.16 TDS 算法示例的原始调度方案	71
图 3.17 基于任务复制的 TDS 调度方案	71
图 3.18 线性和非线性任务簇	72
图 3.19 DSC 算法示例调度结果	73
图 3.20 TPCC 计算示例	74
图 3.21 GSP 框架	74
图 3.22 Condor 作业生命周期	75
图 3.23 Nimrod/G 体系结构	77
图 3.24 GridWay 核心结构	78
图 3.25 数据传输技术分类体系	78
图 3.26 网络存储堆栈	80
图 3.27 网格 workflow 管理系统	83
图 3.28 PKIX 模型	91
图 3.29 Kerberos 工作流程	92
图 3.30 网络安全问题分类体系	93
图 3.31 GSI 大纲视图	95
图 3.32 CAS 工作原理	97
图 3.33 Akenti 系统体系结构	97
图 3.34 PERMIS PMI	98
图 3.35 MyProxy 工作流程	99
图 3.36 网格监控体系结构 GMA	100
图 3.37 Ganglia 体系结构	101