



中国优秀博士论文
DOCTOR
——工 学——

网络服务可生存性的模型、 评价方法与管理策略

王元卓 著



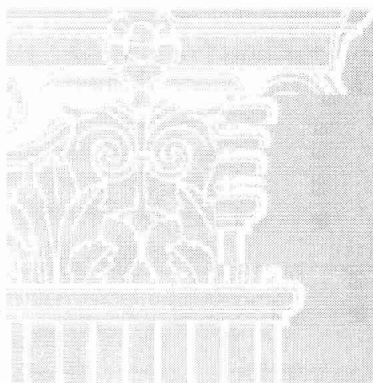
知识产权出版社
INTELLECTUAL PROPERTY PUBLISHING HOUSE



中国优秀博士论文
DOCTOR
工学

网络服务可生存性的模型、 评价方法与管理策略

王元卓 著



知识产权出版社
INTELLECTUAL PROPERTY PUBLISHING HOUSE

内容提要

本书以网格系统为研究背景,给出了具有自治性、动态性、分布性、异构性等特点的网络服务可生存性及其主要属性的定义和形式化描述,重点研究了基于随机Petri网的网络服务可生存性的模型和分析方法,并在计算分析的基础上,探讨了网络服务的管理策略和容忍机制。最后,本书设计并初步实现了网格资源监测与分析系统(GVAS)的原型。

责任编辑:荆成恭

责任出版:卢运霞

图书在版编目(CIP)数据

网络服务可生存性的模型、评价方法与管理策略/王元卓著. —北京:知识产权出版社, 2010.9

ISBN 978—7—5130—0196—0

I. ①网… II. ①王… III. ①计算机网络—服务—研究
IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第186664号

中国优秀博士论文·工学

网络服务可生存性的模型、评价方法与管理策略

Wangluofuwu Keshengcunxing De Moxing、Pingjiafangfa Yu Guanlicelue

王元卓 著

出版发行:知识产权出版社

社 址:北京市海淀区马甸南村1号

网 址: <http://www.ipph.cn>

发行电话:010-82000860 转 8101/8102

责编电话:010-82000860 转 8341 (o)

印 刷:知识产权出版社电子制印中心

开 本:880mm×1230mm 1/32

版 次:2010年9月第1版

字 数:186千字

邮 编:100088

邮 箱:bjb@cnipr.com

传 真:010 82005070/82000893

责编邮箱:jingchengong@cnipr.com

经 销:新华书店及相关销售网点

印 张:8.5

印 次:2011年1月第2次印刷

定 价:28.00元

ISBN 978—7—5130—0196—0/TP·001 (3135)

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题,本社负责调换。

前 言

计算机和网络通信技术的迅猛发展、互联网技术的兴起和广泛应用,有力地促进了网络环境下商业应用和科学应用的研究。与此同时,新一代复杂网络环境下存在的大量异构、分布的计算资源、存储资源、服务资源对已有的网络技术提出了新的挑战,主要表现为:第一,资源的异构性限制了网络应用间的无缝交互,无法为用户提供统一的资源视图;第二,动态的网络环境难以保证应用的服务质量要求;第三,不同的区域组织资源管理模式不同,难以实施跨组织资源的共享。因此,有必要研究新的网络技术以应对这些挑战。

以 Ian Foster 为首的美国科学家针对这些挑战于 1995 年提出“网格计算”^[1]的概念,它的目标是将地理和组织上分布、异构的各种高性能计算机、数据服务器、大型检索存储系统和可视化、虚拟现实系统等通过高速互联网络连接并集成起来,共同完成一些缺乏有效研究办法的重大应用研究问题,并且实现资源的共享。通过利用全球网络庞大的计算资源、丰富的开发工具和友好的人机界面以及各种不同性能和功能的计算机系统,进行高性能的并行与分布式计算,解决核模拟、宇宙学、生物学、生物化学、工程学、流体力学、材料和环境学等重大科学应用领域的计算问题。

近年来世界各地开展了许多网格研究项目,网格计算作为一种高性能广域分布式计算模型已成为该领域的一个研究热点。这些项目包括美国的 Globus、Legion、Condor、IPG 等,欧洲的 CERN DataGrid、UNICORE、MOL 等,澳大利亚的 Nimrod/G、EcoGrid 等,日本的 Ninf、Bricks 等。我国目前在这一领域也已开展了一定程度的研究工作,如中国教育科研网格 (ChinaGrid) 和中国国家网格 (China Nation Grid, CNGrid) 等。

为推进相关技术的广泛应用,网格应用正从科研领域走向企业应用、电子商务等领域,为此借鉴并吸收了已有 Web 服务的研究成果,提出“网格服务”的概念以及开放的网格服务架构 (Open Grid Services Architecture, OGSA),尤其是 WSRF (Web Services Resource Framework, Web 服务资源框架) 规范的提出,进一步加快了 Web 服务与网格资源的整合。网格服务的提出,有利于解决网格环境中虚拟组织间的互操作问题,因为网格服务使用统一格式的服务接口,“表示”与“实现”分离,具有本地/远程服务的透明性和服务语义的统一性,能够实现通用的服务语义与其部署平台的无缝映射。此外,使用网格服务易于实现网格资源的虚拟化,便于虚拟组织内异构资源的一致访问。并且服务的虚拟化允许网格服务组合生成更复杂的服务,以满足应用的需求。

网格系统是一类有着鲜明特点的网络系统,因此网格技术的研究面临着很多新的挑战。用户最关心的是系统提供的服务质量。面对网格资源的广域分布、异构、动态、自治等特性,能否建立一套完整的评价方法来综合评价网格系统为用户提供服务的能力,已被越来越多的研究者所关注。可生存性是指在遭受攻击、故障或意外事故时,系统能够及时提供关键服务的能力。它能很好地描述系统容错和容侵的能力。深入地研究网格环境下网络服务可生存性的模

型、评价方法和管理策略,既能准确描述以网格系统为代表的新一代网络系统提供服务的能力的准确描述,又可以为网格环境以及具有网格特性的网络环境下的资源管理与任务调度提供依据,并最终指导新一代网络计算环境的设计和完善。

目前,以网格技术为代表的新一代网络计算环境正处于发展阶段,服务可生存性的研究越来越被人们所重视,对于具有广域分布、异构、动态、自治等特性的网络环境下服务可生存性分析尚无有效的理论和模型方法,开展针对此特点的网络服务可生存性模型和分析方法的研究,将推动我国新一代网络服务基础理论的研究工作,促进新一代网络计算技术的原始创新。目前,指导以网络为基础的科学活动环境平台及重大示范应用的建设,已经成为摆在我们面前的紧迫任务。从根本上讲,这对提高我国网络计算技术的竞争力,使我国在网络计算基础研究和高技术发展方面进入世界领先行列,都具有非常重要的意义。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金重大研究计划重点项目“网络计算环境下资源组织与管理的基础理论研究(No. 90412012)”、国家自然科学基金面上项目“基于随机 Petri 网的网络可生存性模型与分析方法(No. 60673187)”、“网格服务工作流关键技术的研究(No. 60673160)”以及“基于随机博弈网的网络攻击模型与安全性分析方法(No. 60803123)”的大力支持,立足于面向网格系统的网络服务这一研究领域,重点研究基于随机 Petri 模型的网络服务可生存性的模型方法和分析评价体系,并根据分析评价结果研究相应的管理策略和容忍机制,从而增强网络服务的可生存能力和服务质量(QoS);最终实现具有分布性、动态性、自治性、异构性特征的新一代复杂网络计算环境及其对重大应用建设的指导。

摘 要

随着网络技术和应用的不断发展,一些关键领域或业务应用场景对网络服务提出了更高的要求。尤其是在网格系统中,资源的动态性和自治性给网络服务带来了不确定性,同时,网格资源的异构性和广域分布等特性也使得服务执行过程中网格节点有可能遭受故障、操作事故以及恶意攻击等意外干扰的影响。如何在这样复杂的环境下准确地分析和预测网络服务的可生存性,是一个正在被越来越多的学者关注的问题。目前,这方面的研究才刚起步,缺乏系统的模型和评价体系,同时,也缺少针对评价结果有效的管理策略。

本书对网格环境下网络服务的可生存性及其主要属性的定义、模型技术和分析评价方法以及相应的服务管理策略和容忍机制进行了深入的研究,并介绍了支持资源监测和服务可生存性分析的原型系统。本书的主要内容包括以下5个方面。

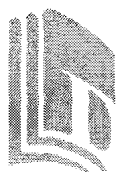
①提出了网络服务可生存性及其主要属性的定义和分析评价的整体框架,并研究了基于随机 Petri 网的网络组合服务的模型方法。该方法可以描述复杂的服务关系,并可记录大量的语义信息。该方法还对典型的服务模式给出了一系列等价化简定理,并进行了相应的证明,这在一定程度上解决了模型求解时的状态空间爆炸问题。

②从服务失效的结果出发,提出了基于随机 Petri 网的服务失效模型的建模方法及相应的容错机制。结合组合服务的模型方法,研究了失效模型的可生存性分析框架,给出了一系列可生存性重要属性的计算方法,并通过应用实例介绍了该分析方法的实用性。

③提出了随机博弈网模型理论。基于该理论,建立了网络环境下攻击行为和防御行为对系统状态的影响模型。通过计算获得了攻防双方在纳什均衡条件下的期望行为,量化计算了与安全相关的可生存性属性。结合博弈论中机制设计以及拍卖等理论,针对 DDoS (Distributed Denial of Service, 分布式拒绝服务) 攻击,设计了相应的容侵机制,从而提高了网络服务的可生存性。

④研究在各种意外干扰发生时网络服务的容错模型和服务管理策略。提出了网络服务干扰、服务可管理性的形式化描述方法,给出了基于随机 Petri 网的网络整体模型和描述节点区分服务的详细模型,并研究了引入可生存性属性的联合策略。通过应用实例分析,说明该策略对由网络资源动态性所造成的服务中断具有较好的控制作用。

⑤设计并初步实现了一个网格资源监测与分析系统 (Grid resources Vision and Analysis System, GVAS) 的原型。同时也设计了基于中国教育科研网格 (ChinaGrid) 的应用实例。通过检测所得的实际数据,较好地实现了对网络服务可生存性参数的计算和分析。实验结果表明,根据 GVAS 系统的分析结果部署的服务在一定程度上优于网格系统随机分配的情况。



目 录

第 1 章 网格服务与可生存性概述

1.1 网格概述	3
1.1.1 网格的概念与特点	3
1.1.2 网格的发展现状	5
1.1.3 网格研究面临的挑战与发展趋势	8
1.2 基于 OGSA 的网格服务	11
1.2.1 网格服务的基本概念	12
1.2.2 网格服务的特征	14
1.2.3 WSRF 规范	16
1.2.4 网格服务的建模与量化分析	17
1.3 可生存性的研究现状	21
1.3.1 可生存性的含义	21
1.3.2 可生存性的研究现状	22
1.3.3 可生存性研究中有待解决的问题	25
1.4 本章小结	26

第 2 章 网格服务的可生存性及其分析方法

2.1 网格服务的可生存性	29
2.1.1 整体研究框架	30
2.1.2 网格服务可生存性的定义及评价指标	31



2.1.3 网格服务可生存性的度量	36
2.2 评价模型的分类	37
2.3 模型的分析方法	40
2.4 Petri 网和随机 Petri 网	45
2.4.1 Petri 网	45
2.4.2 随机 Petri 网	47
2.5 存在的问题分析	50
2.5.1 状态空间爆炸问题	50
2.5.2 竞争博弈问题	52
2.6 本章小结	54

第 3 章 网格服务组合的模型方法

3.1 服务组合	57
3.1.1 服务组合的可生存性	57
3.1.2 数学描述	58
3.2 服务组合模型及其等价化简方法	60
3.2.1 基本模式	61
3.2.2 高级模式	68
3.3 本章小结	74

第 4 章 基于随机 Petri 网的服务失效模型方法

4.1 服务失效模型	77
4.2 可修复结构模型	79
4.2.1 单部件可修复结构模型	80
4.2.2 多部件可修复结构模型	81
4.3 冗余备份结构模型	84



4.4 失效模型的可生存性分析	86
4.4.1 失效模型的可生存性分析框架	86
4.4.2 可生存性参数计算方法	87
4.4.3 应用实例	90
4.5 本章小结	98

第5章 基于随机博弈网的攻击模型及容侵机制设计

5.1 网络环境下的服务攻击	101
5.2 随机博弈网模型理论	103
5.2.1 随机博弈	103
5.2.2 随机博弈网模型方法	107
5.3 攻击博弈模型及其安全属性分析	110
5.3.1 不同角色的随机博弈网模型	111
5.3.2 均衡计算及策略选择	118
5.3.3 随机博弈网计算及模型安全属性分析	122
5.4 针对 DDoS 攻击的容侵机制设计	127
5.4.1 DDoS 攻击	127
5.4.2 数学描述及 SPN 模型	129
5.4.3 基于博弈理论的容侵机制设计	132
5.4.4 容侵机制的分析	134
5.5 本章小结	138

第6章 网络服务的容错模型及管理策略

6.1 网络服务管理	143
6.2 基于随机 Petri 网的网络整体模型	150
6.2.1 数学描述	150

6.2.2	网格系统整体模型	152
6.3	管理策略选择	154
6.3.1	管理策略	155
6.3.2	基于网格整体模型的策略比较	157
6.4	结果分析	164
6.4.1	固定策略和偏好策略	164
6.4.2	随机替换策略和可预测替换策略	166
6.5	联合可生存性指标的容错管理策略	167
6.5.1	基于随机 Petri 网的网格详细模型	167
6.5.2	联合可生存性指标的容错调度策略	169
6.5.3	应用实例及性能分析	175
6.6	本章小结	182

第 7 章 网格资源监测与分析系统的实现及应用实例

7.1	中国教育科研网络	185
7.1.1	ChinaGrid 公共支撑平台	186
7.1.2	通用运行服务	190
7.2	网格资源监测与分析系统	192
7.2.1	总体架构	193
7.2.2	逻辑架构及相关技术	194
7.2.3	系统主要功能介绍	195
7.3	系统实验与可生存性评价	203
7.3.1	应用实例描述	205
7.3.2	系统数据统计与服务可生存性指标评价	205
7.3.3	应用实例部署	214
7.3.4	运行结果分析	217

7.4 本章小结	218
附录 A 应用实例	219
附录 B 计算结果	228
附录 C 插图清单	233
附录 D 附表清单	237
后 记	238
参考文献	240

1.1 网格概述

1.1.1 网格的概念与特点

“网格”这一概念借鉴自电力网的概念，最终目的是希望用户在使用网格计算能力时，就如同现在使用电力一样方便。在使用电力时，我们不需要知道它是从哪个地点的发电站输送出来的，也不需要知道该电力是通过什么样的发电机产生的。不管是水力发电，还是核反应发电，它们最终提供给用户的都是统一形式的“电能”。网格也希望给最终的使用者提供与地理位置无关、与具体的计算设施无关的通用计算能力。

网格计算的主要创始人 Ian Foster 对网格作了如下定义：“网格是构筑在互联网上的一组新兴技术，它将高速互联网、高性能计算机、大型数据库、传感器、远程设备等融为一体，为科技人员和普通老百姓提供更多的资源、功能和交互性。互联网主要为人们提供电子邮件、网页浏览等通信功能，而网格功能则更多更强，让人们透明地使用计算、存储等其他资源。”简单地讲，网格就是把整个网络上的资源集成为一台巨大的超级计算机，从而实现计算资源、存储资源、数据资源、信息资源、知识资源、专家资源、设备资源的全面共享。

Ian Foster 提出，网格必须同时满足以下 3 个条件^[20]。

(1) 在非集中控制的环境中协同使用资源

网格整合各种资源，协调各种使用者。这些资源和使用者的分布在不同的控制域中，如个人电脑和中心计算机、相同或不同公

司的不同管理单元。网格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。

(2) 使用标准的、开放的和通用的协议和接口

网格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。

(3) 提供非平凡的服务

网格允许它的资源被协调使用,以得到多种服务质量,满足不同的使用需求,如系统响应时间、吞吐量、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。

与 Ian Foster 严格限定网格的范围不同,有的学者提出广义网格的概念,认为只要是在广域网范围内的资源共享与服务都可以称为网格,并在此基础上提出了与 WWW 相对应的 GGG 概念,即 Great Global Grid。尽管学者们对网格技术的解释不同,但其核心内涵综合起来,就是利用网络将分散在不同地理位置的电脑组织成一台“虚拟的超级计算机”,让用户全面共享网格上的计算资源、数据资源、信息资源、软件资源、存储资源、通信资源、知识资源、专家资源。比较而言,传统互联网实现了计算机硬件的连通以及网页之间简单的物理连通,而网格的最终目标则是实现网络上所有资源的全面连通。

网格作为新兴的计算平台,能够将各种计算资源整合起来,转化为一种随处可得的、可靠的、标准的、经济的计算能力。同时,网格还具有以下特点^{[12][15][20]}。

(1) 分布性和异构性

组成网格的资源在地理位置上是四散分布的。这些资源可能是计算资源、存储资源、数据资源、仪器资源等,它们分布在地理位置不同的许多地方。同时,组成网格的资源是异构的,计算资源有不同类型的计算机、不同的计算方式、不同的计算接口、不同的系统架



构, 存储资源和其他资源也存在类似的问题。因此, 网络系统需要解决好资源的调度与协同以及不同资源间互操作的接口标准问题。

(2) 共享性和集成性

网络的最终目的是资源共享。任何网络用户都可以非常方便地共享整个网格资源。这种共享是深层次的, 远远超出现有因特网的资源共享程度。网格可以实现多个共享资源的无缝集成, 还可向用户提供单一的超级计算环境, 因此表现出很强的集成性。

(3) 自治性和动态性

网格上的资源首先是属于某一本地的个人或者组织。网格资源的拥有者对资源具有最高级别的管理权限。网格应该允许资源拥有者对其资源有自主的管理能力, 网格因此而具有自治性。这种自治性意味着网格资源的拥有者可以根据自身情况随时决定加入或者退出网格系统。显然, 这种动态变化的网格资源系统增加了任务调度的复杂性, 也使得服务质量不容易得到保证。

(4) 抽象性与虚拟性

网格把实际的物理资源抽象为虚拟的逻辑网格资源。网络用户或是网格的上层应用软件只需要遵循标准网格接口发出的资源请求消息, 就可以获得符合该请求的资源, 但用户得到的只是虚拟的逻辑资源, 它是物理资源的逻辑抽象, 用户和上层应用是看不到物理资源的。网格向用户屏蔽了物理资源的细节, 使得用户能够只关心“实现什么”, 而可以不必在意“如何实现”。

1.1.2 网格的发展现状

网格一词最早出现在 20 世纪 90 年代中期, 网格计算的概念在 1995 年的 IWAY^[2] 项目中首次被提出。网格的发展经历了 3 个阶段, 如图 1-1 所示。