

# 网格计算及其在电力系统应用初探

蔡广林, 韦化

(广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004)

**摘要:** 介绍了网格的概念、体系结构, 网格在其他领域的应用方式, 对网格在电力系统中可能的应用领域做了初步地探讨, 重点论述了在电力系统优化、电力市场、在线安全分析方面的应用。最后, 结合了电力系统对安全性要求高的特点, 预测了一种实现的方式。

**关键词:** 网格; 电力系统; 分布式计算

**中图分类号:** TM769 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)19-0070-05

## 0 引言

网格是最近两年国内外研究的热点问题, 是继 Internet 后又一次重大科技进步, 吸引了众多学者的关注。目前, 网格计算已从原来的科学计算领域, 发展到商业应用领域, 不断提出新的标准和协议, 为用户提供更多的功能和易操作性。网格已经在生命科学、天文、远程教育等多个领域得到了应用。

目前的网格技术还不成熟, 国家性的网格基础设施正在构建, 网络带宽和时延问题仍然严重。所以, 在现有的技术条件下实现网格的应用, 仍然存在许多问题。在电力系统中利用网格技术, 就需要根据电力系统问题本身的一些特点, 开发出相应的软件, 提高其解决具体问题的效率。本文将通过对现有的网格应用项目的分析, 对其在电力系统的应用作初步地探讨。

## 1 网格计算

### 1.1 网格的概念

网格是建立在互联网和 Web 的基础上, 进一步发展起来的, 最初用于科学与工程领域。网格计算的概念是在 20 世纪 90 年代美国的 I-WAY 项目中首先被提出来。I-WAY 项目通过高速的网络将一些高性能的计算机和高级的虚拟环境连接在一起, 为科学研究和项目服务。当时, 连接了位于 17 个地点的超级计算机和 10 个不同带宽和协议的网络。

网格是一个集成的计算和资源环境, 也可以说是一个计算资源池<sup>[1]</sup>。网格将高性能计算机, 高速网络, 大型数据库, 远程设备等融为一体, 为用户提供统一的接口, 使人们能够更加方便地使用 Internet 上的各种资源。网格能够在动态变化的多个虚拟机间共享资源和协同解决问题<sup>[2]</sup>, 从而能够跨越传

统的企业内部和企业与企业之间固定的合作关系, 创建临时性的虚拟组织, 打破了地域上、行政上的约束, 更加有效地利用各种资源。

网格是借鉴电力网的概念提出来的, 网格的最终目的是希望用户在使用这些网格的计算资源、数据和信息资源时, 就像用电一样方便。国际上已经涌现出一大批网格研究项目, 例如, 美国有 Globus<sup>[3]</sup>、Legion<sup>[4]</sup>、Condor<sup>[5]</sup>、IPG 等, 欧洲有 CERN DataGrid、UN ICORE、MOL 等, 澳大利亚有 Nimrod/G、EcoGrid 等, 日本有 Ninf、Bricks 等。

### 1.2 网格系统的体系结构

目前, 在国内外的网格系统广泛使用的协议体系是由 Ian Foster 等人提出和发展的。包括以协议为中心的五层沙漏结构和以服务为中心的开放性网格服务体系结构 OGSA (Open Grid Services Architecture)。

五层沙漏结构主要侧重于学术研究领域, 结构类似于 TCP/IP 协议模型, 容易从整体对其进行理解。五层结构包括构造层、连接层、资源层、汇聚层和应用层。

五层沙漏结构的特点是其沙漏形状, 因各部分协议数量不同, 作为核心的部分, 需要分别向上层、下层各种协议提供映射, 因此, 核心协议数量不应过多, 其成为了协议层次结构的一个瓶颈。模型中, 资源层与连接层组成了瓶颈部分, 如图 1 所示。

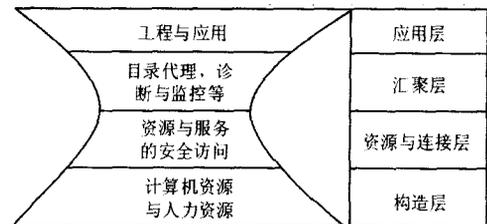


图 1 沙漏形状的五层结构

Fig 1 The five layer sandglasses

OGSA是基于网格和 Web Service的概念和技术提出来的。OGSA定义了公开的服务语义(即网格服务的概念),定义了如何创建,命名和发现临时网格服务实例,提供了绑定于网格服务上的本地透明性和交互协议。通过 Web 服务描述语言(WSDL)接口和相关协议,OGSA定义了建立和组成复杂分布系统的机制,包括生命期管理,动态变化管理和通知机制。

目前,为了将 Web服务和网格计算更好地融合在一起,Globus组织和 IBM又提出了新的框架结构 WSRF(WS - Resource Framework)。WSRF关注怎样通过 Web服务接口操作有状态资源,更好地支持现有的 XML标准和 Web服务新的标准。

## 2 网格应用

目前,网格技术已经在分布式超级计算,分布式仪器系统,数据密集型计算,远程沉浸等方面得到了应用。涉及的应用包括生物信息学网格、图像处理网格、远程教育网格、流体力学网格和海量信息处理网格<sup>[6]</sup>。当前的应用网格的实现主要有两种方式。

1) 国家范围内的网格项目。这是当前大多数国家主要采用的实现方式。主要是将分布在不同地点的高性能计算机通过高速网络构建聚合能力超过上万亿次的高性能计算环境。目前,我国正在开发的有中国国家网格,中国教育科研网格,上海城市信息网格等。这种模式的项目属于国家行为的项目,需要投入大量的资金,能够解决许多大型的科研问题,特别有利于国家范围内的信息化建设。

2) P2P网格或 Internet网格。这种类型的网格计算能够利用 Internet上大量闲置的计算机资源,主要以个人计算机为主,具有很好的可扩展性和故障容许的特点。在 P2P网格计算中,计算机通过 Internet或局部网络共享数据和资源,各个计算机不需要中心服务器就能直接通讯和管理计算任务,因而得到了广泛的应用。如 SETI@home<sup>[7]</sup>工程和 Entopia system<sup>[8]</sup>等。通过 P2P网格聚合的计算能力超过了任何一台超级计算机,能够解决大量数据分析的任务。该种模式面向的应用的特点是对实时性没有要求,分配到每台计算机的任务之间没有通信,实现的效率要比第一种高。

开发网格应用,需要根据网格的特点,或者将已有的应用程序修改后用于网格,或者专门开发用于网格的程序。但无论是何种情况,由于网络带宽和时延的问题,都需要尽量减少通信量。同时,对于原

有的串行应用,并行化采用的算法也必须是粗粒度的,否则会大大影响网格实现的效果。

开发网格应用可以采用下面三种策略<sup>[9]</sup>:

1) 并行批处理。用户将任务划分为小的子任务,然后分散执行,最后收集结果。这里,用户方,服务方,收集显示方可以是同一节点,也可以是不同节点。

2) 并行服务。以服务形式实现第一种情况。用户可以通过网格中间件调用服务。服务方引入“状态”,作为有状态资源,可以被查询、访问,在多次调用间维持状态。

3) 紧耦合并程序。是一种密集通信的紧耦合并行批处理。实现上,采用传统的集群技术会获得更好的效果。

## 3 网格在电力系统的应用

在电力系统中,并行计算和分布式计算一直都是众多学者关注的焦点,随着计算机技术和网络技术的发展,各种并行技术和分布式技术得到了广泛的采用。

电力系统分析计算中,对许多问题都开发了并行算法,但大多数并行算法都是基于数值方法的。例如,在求解潮流方程时采用的并行算法包括 W 矩阵法,稀疏矢量法<sup>[10]</sup>等,这些方法都属于细粒度并行方法,各子任务间有较多地通信,不适合在网格环境下使用。

目前,电力系统中可用于分布求解的问题可划分为下面几种方式:

1) 按区域划分。电力系统本身就具有分层的结构特点。国家电力系统可以划分为区域电力系统,区域电力系统可以划分为省电力系统,各子系统之间通过联络线连接。各子系统可以分别求解,通过联络线变量交换信息,交换信息量少。该方法需要考虑如何对系统进行划分,尽量减少区域间耦合。

2) 按时段划分。电力系统中许多问题与时间段有关系。如暂态计算<sup>[11]</sup>,系统规划,机组开停计划等,各个时段的计算都具有相似性。但划分的困难在于如何解除各个时段之间的耦合关系。

3) 按事件划分。以这种方式划分的问题最适合于网格环境计算,各个事件之间没有关系,不需要互相通信,编程易于实现,效率较高。这类的应用有在线安全分析。

下面,我们将对电力系统的几个应用方面作初步的探讨。

### 3.1 电力系统优化和规划中的应用

电力系统最优化是近年来被电力学者广泛关注的问题,采用最优化理论和最优化方法(线性规划、非线性规划、遗传算法、模拟退火方法等)能够很好地解决电力系统分析计算问题(如最优潮流问题),在保证安全性的同时,又能获得最大的经济效益。但无论是何种方法,都无法克服由于系统规模的扩大,而造成的海量计算问题。另外,对于考虑离散变量一类的 NP 困难问题,精确求解所需要的计算往往比不考虑离散变量的问题大几十倍,上百倍。

在电力系统优化中实现网格的困难在于难以开发适合于网格环境的粗粒度算法。原有的许多算法程序本身不具有可并行的结构,采用数值方法并行,又不可避免产生过多的通信量。

所以,可以采用的一种粗粒度方法是区域划分的方法。目前,已经有多篇文章<sup>[12-14]</sup>对区域最优潮流作了研究。另一种情况,如水火电力系统最优潮流,可以同时采用区域划分和时段划分方法。各时段之间通过水量关系的方程耦合。这些划分后的程序一般都是紧耦合并行程序,所以在网格上实现的性能问题需要进一步的分析讨论。

### 3.2 电力市场中的应用

网格在信息化建设和解决信息孤岛问题上具有很大的潜力。数据网格和信息网格在其他应用领域已经开始研究,这也为我们提供了可借鉴的经验。

在电力市场环境下,各种交易市场的建立,技术支持系统的开发,都需要解决信息共享问题。下面以用户端市场为例描述网格在这方面的应用。开放用户端市场,大型用电企业,个人用户都可以根据电价和服务质量选择零售商,而供电企业和大用户还可以向电力生产企业直接购电。这一模式能够更好地发挥电力市场的效果,有效地调节电力生产,提高效率。

这其中,如何有效地获得不同区域电力市场的发电厂商报价,并能方便地提供给用户市场,就成为实现的难题之一。由于报价和一些服务质量数据的信息量很大,且分布在不同地点,一般在省电力公司存放本区域的各种报价和其他数据,同时,这些数据库可能是 SQL, Oracle 等,操作系统可能是 Windows, Linux, Unix, Solaris 等,数据表示方式也可能不同。所以,要实现有效地访问这些数据,就需要新的技术。

为了克服这些困难,可以利用网格技术,将各省电力公司的数据库通过高速网络连接,通过网格中

间件管理这些数据库。当面向用户时,为其提供统一的用户界面,用户就可以查询到整个国家市场,或是区域电力市场下的所有数据,这些数据存放在不同地点,但对用户来说,这是透明的。用户获得的数据可能一部分来自于本区域服务器,一部分来自其他区域的服务器。

另一方面,对于用户来说,希望得到基于所给的发电厂商报价、电网过网费、辅助服务费用等决定最优的发电厂商或零售商。这一部分的计算任务按用户来划分为可并行的多个并发任务,当用户数量较多,本地服务器所需要承担的计算量很大,就需要利用其他的计算机资源。在网格环境下,网格中间件能够发现空闲的可利用的计算机资源,将任务分配给闲置的计算机,并将结果返回给用户。

### 3.3 在线安全分析的应用

在线安全分析是在当前的运行方式下,用一组预想事故来检验系统的安全性能。其中,对每个预想事故都需要做一次潮流计算,对于大型系统,作  $N-1$  安全分析就需要花费大量的计算机时间。所以,将每一个预想事故分析作为一个计算子任务,通过网格资源管理层分配到网格中空闲的计算机上。

目前,分布式处理在电力系统静态安全分析和在线预决策紧急控制系统都得到了应用,通过采用主从模式将预想故障集分配到中心管理机管理的各台计算机上执行,获得了较高的加速比和效率。网格技术作为分布式计算的一种新技术,能够提供更强大的功能。

除了上面提到了应用领域,其他的很多应用是否适合于网格环境需要更多地研究和探讨。目前,国外已有学者从事网格与分布式发电方面的研究<sup>[15]</sup>。国内,清华大学也开始从事网格在全网一体化仿真等方面的研究<sup>[16]</sup>。可以预见,随着网格技术的不断成熟,越来越多电力系统学者开始从事网格方面的研究。

## 4 网格在电力系统的一种应用模式

由于电力系统对安全性要求很高,而网格的一个很重要的特点就是其动态性。网格中的任何资源都有可能动态的失去,如某台计算机突然故障,或是网络不通等原因,都有可能造成失去大量的可用资源。所以,为了保证在任何时刻,都有足够的计算力可供使用,满足电力系统实时性、安全性要求高的特点,就不能完全依赖于网格动态分配资源,需要考虑冗余问题。

这里,将网格中某几台超级计算机、集群作为基本节点,它们固定作为计算节点,并且能够保证在线分析的最低要求。如图 2 所示,所有节点都在一个计算机资源池中,在网格概念中可以称之为是一个虚拟组织,与网格的定义不同的是,这里基本节点是固定的,其他节点可以动态的加入与退出。

用户端可以通过 web 页面提交任务和查询结果,不同地点的用户都可以方便地使用。

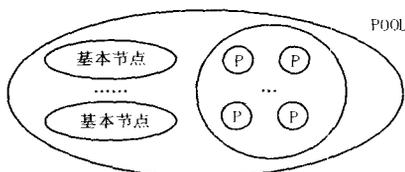


图 2 实现方式的计算机资源图

Fig 2 Structure of computer

基本节点由省调中心的高性能服务器或集群担当,这样,不仅有利于信息的交换,也有利于保证大量的计算在本地完成。基本节点也可以选取其他地点的高性能计算机完成,但需要传输大量的数据信息。基本节点的选取不是固定的,与提交任务的地理位置和任务规模有关,当要对整个省的系统作分析时,选取本省的调度中心作为基本节点符合实际的情况。

由于网格还不成熟,并受通信问题影响,本身性能相对于集群、高性能计算机还不高。所以,并不是所有任务都必须由网格来完成。对实时性要求不高的任务或计算量本地无法完成的任务,交给网格动态分配,而对实时性要求较高,可以直接利用本地计算资源完成。

另外,可以根据各子任务的重要程度和优先级排序,将重要的任务分配给基本节点,其他节点可以作为冗余补充。这种模式有以下优点:

1) 可以充分利用其他空闲计算机,包括大量 Internet 上的空闲资源,特别是大量的 PC 机。对提高在线分析的速度非常有利。

2) 除基本节点外的其他节点承担的任务重要程度低,所以失去部分资源不会对整个系统产生过大的影响。

3) 扩展性和容错性高。

## 5 结论

网格计算正处于起步阶段,其技术和标准最终也会像 Internet 一样逐步完善和实用。对于电力系统,网格是一个新的机遇和挑战。将网格技术应用

到现有的系统和软件,对于电网的安全稳定运行,大型系统分析仿真,信息数据共享,管理和决策都会具有很高的研究价值和意义。

## 参考文献:

- [1] Foster I, Kesselman C. The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1999.
- [2] Foster I, Kesselman C, Tuecke S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations[A]. First IEEE Proceedings International Symposium on ACM. 2001. 6-7.
- [3] Grimshaw A S, Wulf W A, Legion Team. The Legion Vision of a Worldwide Virtual Computer[J]. Communications of the ACM, 1997, 40(1): 39-45.
- [4] Foster I, Kesselman C. Globus: A Metacomputing Infrastructure Toolkit[J]. Intl J Supercomputer Applications, 1997, 11(2): 115-128.
- [5] Condor Project [EB/OL]. <http://www.cs.wisc.edu/condor>
- [6] 都志辉,陈渝,刘鹏. 网格计算 [M]. 北京:清华大学出版社, 2002.  
DU Zhi-hui, CHEN Yu, LIU Peng. Grid Computing [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [7] Entropia Project [EB/OL]. <http://www.entropia.com>.
- [8] SETI@Home Project [EB/OL]. <http://setiathome.ssl.berkeley.edu>
- [9] Kra D A. Six Strategies for Grid Application Enablement [EB/OL]. [http://www-900.ibm.com/developmentWorks/cn/grid/gr-enable/index\\_eng.shtml](http://www-900.ibm.com/developmentWorks/cn/grid/gr-enable/index_eng.shtml)
- [10] 薛巍,舒继武,王心丰,等. 电力系统潮流并行算法的研究进展 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002, 42(9): 1192-1195.  
XUE Wei, SHU Ji-wu, WANG Xin-feng, et al. Advance of Parallel Algorithms for Power Flow Simulation [J]. Journal of Tsinghua University, Sci & Tech, 2002, 42(9): 1192-1195.
- [11] 李亚楼,周孝信,吴中习. 基于 PC 机群的电力系统机电暂态仿真并行算法 [J]. 电网技术, 2003, 27(11): 6-12.  
LI Ya-lou, ZHOU Xiao-xin, WU Zhong-xi. Personal Computer Cluster Based Parallel Algorithms for Power System Electromechanical Transient Stability Simulation [J]. Power System Technology, 2003, 27(11): 6-12.
- [12] Kim B H, Baldick R. Coarse-grained Distributed Optimal Power Flow [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(5): 932-939.
- [13] Nogales F J, Prieto F J, Conejo A J. Multi-area AC Op-

- timal Power Flow: a New Decomposition Approach [A]. Proc Power Syst Computs Conf 1999. 1201-1206
- [14] Bakirtzis A G, Biskas P N. A Decentralized Solution to the DC-OPF of Interconnected Power Systems [J]. IEEE Trans on PWRs, 2003, 18 (3): 1007-1013
- [15] Irving M, Taylor G. Prospects for Grid-computing in Future Power Networks [EB/OL]. [http://www.brunel.ac.uk/eesrg/research/pdf\\_pubs/grid03.pdf](http://www.brunel.ac.uk/eesrg/research/pdf_pubs/grid03.pdf)
- [16] 张伟,沈沉,卢强. 电力网格体系初探——(一)电网监控从集中计算到分布处理的发展 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(22): 1-4  
ZHANG Wei, SHEN Chen, LU Qiang. Framework of the Power Grid System——Part One: Development of Power

Network Monitoring from Centralized to Distributed Processing [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (22): 1-4

收稿日期: 2005-01-14

作者简介:

蔡广林 (1980 - ),男,硕士研究生,研究方向为电力系统网络计算与分布式计算; E-mail: tonsang@126.com

韦化 (1954 - ),男,教授,博士生导师,主要研究方向为现代内点最优化理论及其在电力系统的应用,涉及最优潮流、水火电力系统最优潮流、电压稳定、状态估计、网格与分布计算。

### Preliminary study of grid computing and its application in power system

CAI Guang-lin, WEI Hua

(Guangxi University, Nanning 530004 China)

**Abstract:** This paper introduces the definition, system structure and application of other domains of grid computing. Probable applications of grid computing to power system are discussed, which mainly includes optimization of power system, power market and on-line security analysis. At last, a realization mode is predicted considering highly security requirement of power system.

**Key words:** grid; power system; distributing computing

(上接第 65 页 continued from page 65)

- [2] Allamaraju S, Buest C, Davies J. J2EE编程指南 (1.3 版) [M]. 马树奇,译. 北京:电子工业出版社,2002  
Allamaraju S, Buest C, Davies J. Professional Java Server Programming J2EE, 1.3 Edition [M]. MA Shu-qi, Trans Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002
- [3] Rumbaugh J, Jacobson I, Booch G. UML参考手册 [M]. 姚淑珍,唐发根,译. 北京:机械工业出版社,2001.  
Rumbaugh J, Jacobson I, Booch G. The Unified Modeling Language Reference Manual [M]. YAO Shu-zhen, TANG Fa-gen, Trans Beijing: China Machine Press, 2001.
- [4] Jacobson I, Booch G, Rumbaugh J. 统一软件开发过程

[M]. 周伯生,冯学民,樊东平,译. 北京:机械工业出版社,2002

Jacobson I, Booch G, Rumbaugh J. The Unified Software Development Process [M]. ZHOU Bo-sheng, FENG Xue-min, FAN Dong-ping, Trans Beijing: China Machine Press, 2002

收稿日期: 2005-01-17; 修回日期: 2005-05-20

作者简介:

杨秋霞 (1977 - ),女,硕士,讲师,研究方向为信息技术在电力系统中的应用; E-mail: yqx207@sohu.com

李旭霞 (1976 - ),女,硕士,助理工程师,研究方向为配电网自动化。

### Component-based research and development of PAS

YANG Qiu-xia<sup>1</sup>, LI Xu-xia<sup>2</sup>

(1. Department of Information, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. Shanxi Electric Power Design Institute, Taiyuan 030001, China)

**Abstract:** Power Application Software (PAS) and its realization are very important to distribution management system (DMS). After introducing unified modeling language (UML), J2EE architecture and three important components (EJB, Servlet and JSP) provided by J2EE component-based development of PAS is studied. Taking power load flow calculation as an example, the component-based PAS realization is detailed.

**Key words:** DMS; PAS; UML; J2EE architecture