

P2P 技术在电力网格中的应用

杨丽, 黄彦全, 肖建, 魏震波

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610013)

摘要: 把 P2P 技术和网格技术结合起来, 通过将 P2P 技术引入电力网格, 提出了电力系统的 P2P-Grid 模型, 实现这两种技术的优势互补, 以解决电力网格应用于电力系统的大规模整合所带面临的瓶颈问题, 并提高电力网格对部分电力系计算服务的性能。通过利用 JXTA 技术搭建 P2P 电力计算网格, 在 IEEE118 电力模型上实现了基于 P2P 计算的电力系统分布式潮流分析, 验证了 P2P 技术和电力网格技术融合的可行性和有效性。

关键词: P2P 技术; 网格计算; 电力网格; P2P-Grid; JXTA 技术; 电力系统潮流计算

Application on system grid with P2P technology

YANG Li, HUANG YAN-quan, XIAO Jian, WEI Zhen-bo

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Sichuan 610031, China)

Abstract: According to the complementary advantage of P2P and grid, this paper applies the integration of P2P technology and Power Grid to deal with the bottleneck of heterogeneous resource integration which exists in Large Power Grid, and also Power P2P-Grid can improve the performance of some distributed computation in power system. A Power P2P-Grid system is designed by JXTA. Distributed power flow analysis based on P2P computation of IEEE118 model is accomplished, the result validates the feasibility and validity of integrated of P2P and Power Grid.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No.60674057).

Key words: P2P technology; grid computation; power grid; P2P-Grid; JXTA; power flow computation

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)20-0027-04

0 引言

全国范围内电力系统的互联使电力系统在线动态分析和控制所要求的计算能力将大大超过当前的实际配置。未来大电网的稳定控制要求依据实时信息及时发出最优控制指令, 通过快速响应的控制设备, 进行大电网的分层分区综合协调控制。网格技术代表了一种灵活而且可扩展的分布式计算的体系架构。

这种架构能够将各种异构的分布式资源组成一个统一的大型虚拟计算机, 为使用者提供一套完善的、具有单一映像的共享资源和协同决策支持环境。

在系统的动态性、透明性、可扩展性、可伸缩性、高可用性和安全性等方面更加完善, 将具有满足未来互联大电网系统性能要求的潜力, 并有可能成为未来互联网系统的支撑技术^[1]。自电力网格的概念提出以来, 人们把电力网格的研究扩展到电

力系统的调度自动化^[2]、电力系统控制^[3], 电力市场交易^[4]等很多领域。随着互联技术的新发展, 网格技术进入了以服务为核心的网络结构发展阶段。Web 服务、P2P (Peer-to-Peer) 和 SOA (service-oriented architecture) 技术等领域的成果也被网格技术吸收进来, 在很大程度上促进了网格技术的发展^[3]。如何有效地将这些新技术应用到电力网格中, 以实现电力网格对互联网稳定控制性能的进一步完善, 从而促进我国的大区电网互联, 成为一个研究课题。本文分析了 P2P 技术和网格技术的互补性, 将 P2P 技术融入到电力网格体系中, 提出了电力系统的 P2P-Grid 网格模型。

1 P2P 与电力系统网格

P2P 和网格都属于分布式技术, 它们的总体目标相似, 但二者有明显的不同。P2P 的技术侧重点倾向于为普通网络用户构建一个使用网络资源的良好环境, 并向用户提供各种计算服务, 从而有效地利用网上的闲置资源。而网格技术的重点则是将一

基金项目: 国家自然科学基金资助 (60674057)

个国家或地区的大型超级计算机整合为统一的计算平台,完成大规模的科学计算、数据分析等密集型任务^[5]。

目前的电力网格体系主要是开放服务网格体系 OGSA (Open Grid Server Architecture)。这种体系在构建网格系统并对 Grid 进行拓扑规划设计时,整体上都是以分布式模式为主,但是在具体实现上都没有脱离集中式的思维^[6]。这样可以高效地对网格资源实现控制,为快速发现资源提供保障,从而能够准确迅速地获取互联电网中的资源信息,在一定程度上满足互联电网的控制要求。但是在面对大电网互联这种动态大规模分布式环境时,网络的层次式的集中模型就会产生瓶颈^[7]。而 P2P 系统是一种全分布式的系统,没有需要依赖的中心服务器,可以避免瓶颈,充分实现网络的流量均衡。

2 电力 P2P-Grid

本文提出了电力系统的 P2P-Grid。目标是在电力网格中,把 P2P 和 Grid 融合成为一个既具有 P2P 特点,能够整合电力系统内部大面积的普通计算资源,又具有 Grid 特点,能完成大电力系统的分析计算及其研究工作的模型,充分达到资源的高效合理利用。P2P-Grid 模型如图 1 所示。

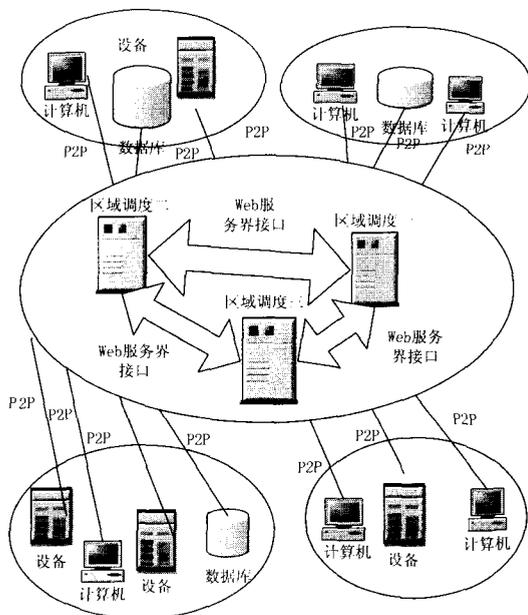


图 1 电力系统的 P2P-Grid 模型

Fig. 1 Power P2P-Grid model

电力的生产管理多年来自然形成了一整套“分级管理、分层控制、分布处理”的体系^[8]。国家电网下辖的各区域电网之间是平等的关系,在各区域

电网之下又构成了各级的子网。在电力系统的 P2P-Grid 模型中,根据电力系统内部形成的分层管理的特点,把大电力系统按照管理区域划分成对等地位的区域电力网格。每个区域网格内部按照各自的需要选择不同的网格技术组织管理系统内部的资源,实现对资源的高效控制;每个区域网格 Peer 之间按照 P2P 的策略进行资源的共享和发现,并在一定的安全需求下彼此备份资源,相互之间构成一个自由松散的联合体。这种机制下的电力网格比单纯的电力网格在容错性、可靠性和扩展性方面都会有很大的提高。P2P 的通信机制也给电力网格的资源共享方式提供了一种更加高效、健壮的全分布式的策略选择,在一定的程度上降低了中心服务器的负担,提高了电力网格对资源的利用率。

在电力系统的 P2P-Grid 模型中,P2P 以一种服务的形式存在,参与到 Grid 的资源组织和管理中,成为核心层的一个补充。P2P-Grid 模型的体系结构见图 2。在这种电力 P2P-Grid 模型下,各级调度中心的数据和资源可以实现更大的整合,为全国大并网以后的全网准确仿真、监测和控制提供了基础。基于 P2P-Grid 的电力系统一体化仿真的解决方案如下:

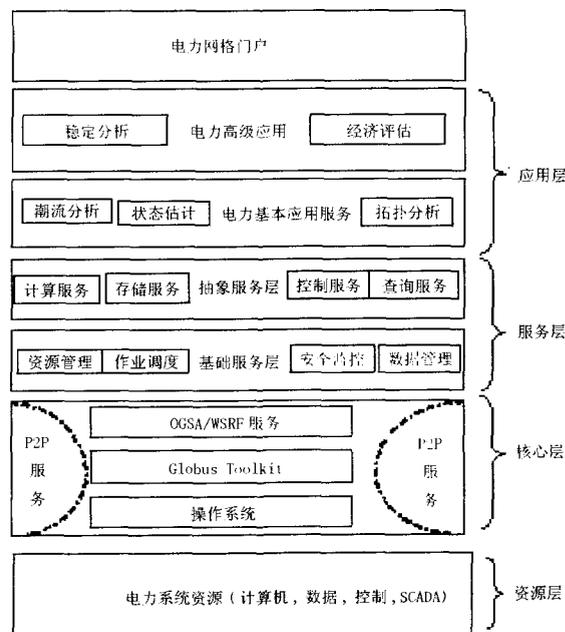


图 2 电力 P2P-Grid 模型的体系结构

Fig. 2 Framework of P2P-Grid system

当系统中拥有一体化服务权限的一个调度中心提出一体化仿真服务请求时,区域网格 Peer 把这一请求用 P2P 服务的广播形式在整个网络中发布,每

一个区域网格 Peer 接到服务通告以后,根据安全等级响应服务要求。如果满足安全等级,各区域网格在 P2P 环境中发布所辖区域与相邻区域联系的线路参数,并对区域内详细的模型进行仿真计算,得到的计算结果在 P2P 环境中发布,同时下载备份其它区域提供的线路参数和计算结果。在这一过程中由发起计算的区域网格 Peer 协调计算过程产生的误差,并保证计算结果的收敛。如有需要,可以将最终的计算结果在全网发布,最终完成对全网的一体化仿真。

在这一过程中,各区域子网的计算在其内部的网格环境下完成,只与网络中的其它子网交换必要的信息,有效地保证了各调度中心对数据保密性的要求。各区域子网的数据交换在 P2P 的环境下进行,平衡了网络流量;当一个区域由于某些原因无法完成计算仿真的任务时,其它的区域可以在备份的最近一次数据上进行计算,有效地提高了系统的健壮性。通过 P2P 环境,各区域子网在保持区域独立性的基础上完成了资源的整合,从而在更大的程度上整合了各调度中心的数据、资源和基础设备,有效地解决了网格中的瓶颈问题,最终达到资源的高效、合理和有效的利用。当前,P2P 的安全性问题,是关注的一个要点,如何更好地解决它和电力网格之间的协调一致,发挥 P2P 和网格各自的优势,把它们融入到电力系统的 P2P-Grid 中还需要进行大量的研究工作。

3 在 P2P 环境下的电力网格分布式潮流计算

本文在多台不同硬件配置,不同操作系统的电脑上搭建了网络的 P2P 计算环境,研究了在 P2P 环境下的电力系统的分布式潮流计算效果。

3.1 电力系统 P2P-Grid 的原型搭建

3.1.1 技术选型

原型系统采用 Java^[9]语言开发,Java 语言具有跨平台,完备的网络协议接口、编程语言级的线程支持、动态类载入机制等优势,为网格计算提供了便利。随着 Java 技术发展的日益成熟,Java 虚拟机也成为了计算机系统的标准配置,有效地屏蔽了各个资源的异构性。

3.1.2 JXTA 开发工具

JXTA^[10]开发工具包是 Sun 公司提供的 Java 语言环境下开发 P2P 网络软件的工具包。JXTA 定义了一套三层的结构。最底层协议的功能是对通信、路由选择和 P2P 的连接管理。中间层协议处理更高的工作,如索引、检索和文件共享等。最顶层的协

议则提供了应用程序用于管理中间层服务和底层通信,以便建立实际的 P2P 应用程序。这三层构成了原型系统的核心层和服务层。分布式潮流计算的服务在最顶层之上开发。在 JXTA 中,所有的协议都被定义为 XML 消息在对等节点之间传送。每一条 JXTA 消息都有一个标准的格式,并且可能包括可选数据区。因此,有利于把电力系统的 IEC 通信标准嵌入 JXTA 的消息里,实现信息电力网格的标准化。

3.1.3 基于电力 P2P-Grid 分布式电力潮流计算

本文的潮流计算方法采用了基于支路切割法的分布式潮流计算方法^[11]。

通过上述分析可以总结出在电力系统的 P2P-Grid 模型中基于支路切割的潮流计算分解算法流程图如图 3 所示。

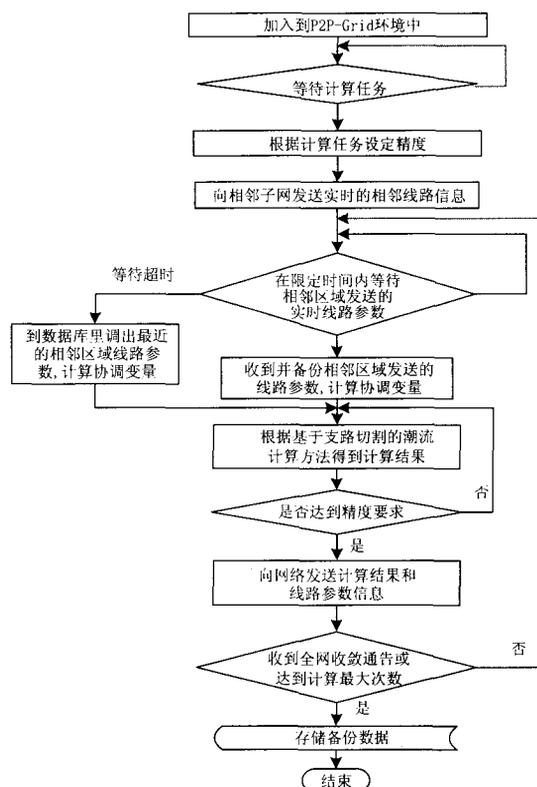


图 3 基于 P2P-Grid 电力系统潮流计算流程图

Fig.3 Flow chart of power flow based on P2P-Grid

3.2 系统部署和计算结果分析

原型系统由三台 PC 机通过 100 Mbit/s 的以太网互联组成电力 P2P-Grid 测试环境。本文将 IEEE118 节点分别划分为三个和四个区域,以模拟实际系统中的电力系统区域分布式信息。分区的信息和部署见表 1 和表 2。

在给定的边界条件下,每个分区的计算结果都

完成了收敛,最终协作完成了整个网络的计算。本文还采用了四个分区进行计算,也达到了满意的结果。限于篇幅不在此处列出。在 P2P-Grid 模型下,每一个分区都保有和相邻分区连接线的历史数据,一旦一个分区出现计算故障,其它的分区也可以在 P2P 的环境下根据最近更新的数据,得到较准确的仿真模型。上述过程中,没有系统的简化和等值,没有各调度中心海量数据的传输和共享,各调度中心对参数的保密性和功能的完整性要求也能得到满足,可以完成大电力系统的一体化仿真任务。

表 1 IEEE118 节点分区信息

Tab.1 System information of IEEE118-bus case

分区编号	节点数	支路数	边界 节点数	联络 线数
分区一	35	53	4	4
分区二	43	77	7	9
分区三	40	66	4	5

表 2 分区的信息和部署

Tab.2 Subsystem information and deployment

PC 机 节点	PC 机配置	操作系统	分区 编号	计算收 敛情况
A	双核 Xeon 主频 3GHz 4G 内存	Windows XP	分区 1	收敛
B	赛扬 D 主频 2.4GHz 512M 内存	Windows XP	分区 2	收敛
C	Intel PIII 主频 733MHz 256M 内存	Linux	分区 3	收敛

4 结语

在电力网格中,根据 WEB SERVICES 和 OGSA,利用 GRID 和 P2P 的优势及其协同性,为提供标准的用户接口,把 P2P 以服务的形式嵌入到电力网格中,构建电力系统的 P2P-Grid。电力系统的 P2P-Grid 将为电网互联提供高性能的、更健壮分布式电力网络环境。有助于电力网格的一体化仿真计算的解决和电力网络资源的共享,并能在更大的程度上实现我国超大规模电力系统的资源和数据整合问题。

参考文献

[1] 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):1-4,26.
ZHANG Wei, SHEN Chen, LU Qiang. Frame-work of the Power Grid Ssystem Part One: Development of

Power Network Monitoring from Centralized to Distributed Processing[J].Automation of Electric Power Systems, 2004,28(22):1-4,26.

[2] 张伟,沈沉,卢强.电力网格体系初探(二)-电力网格体系结构[J].电力系统自动化,2004,28(23):1-5.
ZHANG Wei, SHEN Chen, LU Qiang. Framework of the Power Grid System, Part Two: Architecture of the Power Grid System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004,28(23):1-5.

[3] 周华锋,吴复立,倪以信.基于网格服务的未来电力系统控制中心概念设计[J].电力系统自动化,2006, 30(11): 1-6.
ZHOUHuafeng, WU F F,NI Yi-xin. Conceptual Design for Grid Service-based Future Power System Control Centers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(11): 1-6.

[4] 王稹,何光宇,沈沉.基于网格技术的电力市场交易系统的设计[J].电力系统自动化,2005,29(18):13-18.
WANG Zhen, HE Guang-yu, SHEN Chen. Design of Electricity Market Transaction System Based on Grid Technology[J].Automation of Electric Power Systems, 2005,29(18):13-18.

[5] 马俊飞,洪利,王敏.基于 P2P-GRID 模式构建健壮的网络 [J].计算机系统应用,2006,(8):12-15.
MA Jun-fei, HONG Li, WANG Min. Construct the Stalwart Network Environment Based on P2P Grid[J]. Computer Applied System, 2006,(8):12-15.

[6] Shrideep Pallickara, Geoffrey Fox. NaradaBrokering: A Distributed Middleware Framework and Architecture for Enabling Durable Peer-to-Peer Grids[EB/OL]. <http://grids.ucs.indiana.edu/ptliupages/publications/clade-06-ManagingGridMessagingMiddleware-UPDATED.pdf>.

[7] Foster I, Ianmitch A. A Peer-to-Peer Approach to Resource Location in Grid Enviroments[EB/OL]. <http://people.cs.uchicago.edu/~anda/papers/iamnitichi-bo-okch.pdf>.

[8] 辛耀中.电力信息化几个问题的探讨[J].电力信息化,2003,1(3):20-23.
XIN Yao-zhong. Several Discussion on Electric Power Information Technology Electric[J]. Power Information Technology, 2003,1(3):20-23.

[9] Java Programming Language[EB/OL]. <http://java.sun.com>

[10] JXTA: Java Programmer's Guide[EB/OL]. <http://www.jxta.org>.

[11] 黄彦全,肖建,刘兰,等.基于支路切割方法的电力系统潮流并行协调算法[J].电网技术,2006,30(4): 21-25.
HUANG Yan-quan, XIAO Jian, LIU Lan, et al.A Coordinational Parallel Algorithm for Power Flow Calculation Based on Branch Cutting[J].Power System Technology, 2006,30(4): 21-25.

(下转第 36 页 continued on page 36)

- Operation Card[J]. Relay, 2004, 28(4): 35-38.
- [5] 杨继涛, 胡明, 吴琼, 等. 电网调度操作票专家系统的设计与开发[J]. 继电器, 2004, 32(15): 46-47. YANG Ji-tao, HU Ming, WU Qiong, et al. Design and Development of Dispatching Sheet Expert System for Power Network[J]. Relay, 2004, 32(15): 46-47.
- [6] Cavalieri S. Improving Performance of a Flexible Manufacturing System by Petri net Based Modelling and Simulation[A]. In: Industrial Electronics Society, 2000. IECON 2000. 26th Annual Conference of the IEEE[C]. Nagoya(Japan):2000.
- [7] Lee J, Member S. Modeling Uncertainty Reasoning with Possibilistic Petri Net[J]. IEEE Trans on System Man and Cybernetics-part B: Cybernetics, 2003, 33(2): 16-19.
- [8] Retchkiman Z. Stability and Stabilization Techniques for Discrete Event Systems Modeled by Coloured Petri Nets[A]. In: Control Applications, 2000. Proceedings of the 2000 IEEE International Conference[C]. Anchorage (USA): 2000.
- [9] Gotesman M, Lopez-Benitez N. Petri Net-based Modeling of Hybrid Dynamic Systems[A]. In: Emerging Technologies and Factory Automation, 1996 IEEE Conference[C]. Kauai(Hawaii): 1996.
- [10] 孙静, 秦世引, 宋永华. 一种基于 Petri 网和概率信息的电力系统故障诊断方法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(13):10-14. SUN Jing, QIN Shi-yin, SONG Yong-hua. A Fault Diagnosis Method for Power System Based on Petri Nets and Probability Information[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(13):10-14.
- [11] 赵洪山, 米增强, 杨奇逊. 基于冗余嵌入 Petri 网技术的变电站故障诊断[J]. 电力系统自动化, 2002, 24(4): 32-35. ZHAO Hong-shan, MI Zeng-qiang, YANG Qi-xun. Substation Fault Diagnosis Based on Petri Nets Embedding[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 24(4): 32-35.
- [12] 马骞, 杨以涵, 刘文颖, 等. 基于对象 Petri 网技术的电力系统故障恢复方法[J]. 电网技术, 2005, 29(3):23-28. MA Qian, YANG Yi-han, LIU Wen-ying, et al. Method of Power System Restoration Based on Object-oriented Petri-net Technique[J]. Power System Technology, 2005, 29(3):23-28.
- [13] 王磊, 万秋兰. 扩展时序 Petri 网在仿真保护及自动装置动作逻辑中的应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(6): 71-74. WANG Lei, WANG Qiu-lan. Extended Time Petri Net Applied in Action Logic Simulation of Protection and Automation Equipment in DTS[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(6):71-74.
- [14] 赖晓平, 周鸿兴. 电力系统网络拓扑分析的有色 Petri 网模型[J]. 电网技术, 2000, 24(12):5-10. LAI Xiao-ping, ZHOU Hong-xing. Coloured Petri-net Model for Topology Analysis of Power Network[J]. Power System Technology, 2000, 24(12):5-10.
- [15] 傅荣, 罗键. 产生式知识表示的 Petri 网模型及其推理规则[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2000, 39(6):748-749. FU Rong, LUO Jian. A Petri-net Model for Production Knowledge Representation and the Reasoning Rule[J]. Journal of Xiamen University(Natural Science), 2000, 39(6):748-749.
- [16] 刘晓霞. 基于 Petri 网的知识库维护方法的研究[J]. 小型微型计算机系统, 1997, 18(7):74-77. LIU Xiao-xia. A Study on the Maintenance of a Rule Base Using Numerical Petri Nets[J]. Mini-Micro Systems, 1997, 18(7):74-77.
- [17] 董红斌, 杨巨庆. Petri 网: 概念、分析方法和应用[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 1999, 15(5):59-60. DONG Hong-bin, YANG Ju-qing. Petri Net: Concept, Analysis Method and Application[J]. Journal of Harbin Normal University, Nature Science, 1999, 15(5):59-60.

收稿日期: 2007-03-26; 修回日期: 2007-05-08

作者简介:

杨以涵(1927-), 男, 博士生导师, 研究方向为电力系统运行分析与控制, 人工智能在电力系统中的应用, 光学互感器;

吴琼(1979-), 男, 博士研究生, 研究方向为电力系统调度自动化, 人工智能在电力系统中的应用等; E-mail:bjwq7972@126.com

刘文颖(1955-), 女, 教授, 研究方向为电力系统运行分析与控制, 调度自动化等。

(上接第 30 页 continued from page 30)

收稿日期: 2007-01-18; 修回日期: 2007-06-10

作者简介:

杨丽(1981-), 女, 硕士研究生, 从事电力系统数字化, 以及优化算法、模式识别等方面的研究; E-mail:

rainbow1981@163.com

黄彦全(1961-), 男, 教授, 从事变电所综合自动化、微机保护和电力系统状态估计等方面的研究;

肖健(1950-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究领域为计算机控制系统、鲁棒控制, 电传动控制系统等。