

文章编号:1000-582X(2011)02-069-05

面向服务架构的电力分布式计算系统模型

王成良^a, 李 韧^a, 王主丁^{b,c}

(重庆大学 a. 软件学院; b. 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室;
c. 电力能源技术经济研究院, 重庆 400044)

摘 要:基于进程通信的电力分布式计算模型满足了电力企业利用电力分布式计算理论对电网安全经济运行情况做出实时监测和分析计算的实际需求,但存在公有基础功能开发复杂性高、系统可扩展性不足等问题。设计并实现了一种基于面向服务架构的电力分布式计算系统模型。运用软件设计模式设计了低耦合、可扩展的系统框架,设计使用 Windows 通信基础(Windows Communication Foundation, WCF)技术实现面向服务的分布式数据通信,使用 Windows 工作流基础(Windows Workflow Foundation, WWF)技术可视化地实现电力分布式计算中的各种业务逻辑和计算流程,并结合 ADO.NET 数据库访问技术实现异构数据的集成。面向服务的系统模型架构提高了系统的可集成性和可扩展性,WCF 和 WWF 技术的使用降低了分布式计算系统开发的复杂性。

关键词:电力系统;分布式计算系统;面向服务架构;WCF;WWF;

中图分类号:TP 319; TM 744

文献标志码:A

A power distributed computing system model based on services-oriented architecture

WANG Cheng-liang^a, LI Ren^a, WANG Zhu-ding^{b, c}

(a. College of Software Engineering; b. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology; c. Electric Energy

Technology and Economy Institute, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: Process communication based power distributed computing model satisfies the demand on real time monitoring and analysis for the economical operation of power grid based on power distributed computation methods, but there are some problems on complexity in common basic functions development and lack of system extendibility. An extendable services-oriented power distributed computation system model is designed and implemented. Software design patterns are applied to design low coupling and extendable system framework. Windows Communication Foundation (WCF) technology is used to implement the services-oriented distributed data communication functions. Windows Workflow Foundation (WWF) technology is used to design the business logic of power distributed computation visually. Data integration functions are implemented by combining the ADO.NET technology. The services-oriented system architecture enhances the integration ability and extendibility. The use of WCF and WWF technology reduces the complexity of the system development.

Key words: power system; distributed computer systems; service oriented architecture; WCF; WWF

收稿日期:2010-07-25

基金项目:科学技术部科技型中小企业技术创新基金资助项目(06C26225110507)

作者简介:王成良(1964-),男,重庆大学教授,主要从事软件工程研究,(Tel)023-65111964;(E-mail)wcl@cqu.edu.cn。

电力网络是保障国民经济快速发展及人民生活正常进行的重要基础设施。我国通常将电网按所属行政区域、网络拓扑结构或电气特征划分为多个互联的子网络,每个子网络拥有各自的调度控制中心。为保障各级、各区域电网的安全经济运行及保证良好的电能质量,需要以提供电网实时运行数据的监控与数据采集(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)系统^[1]为基础,结合状态估计计算、等值计算、潮流计算等电力分布式计算算法理论,开发高效、稳定的电力分布式计算系统,从而对电网运行状态进行实时的安全监控和分析计算^[2]。

目前,国内面向电力行业的分布式计算还未得到广泛应用。文献^[3]所提出的基于进程通信的电力分布式计算模型从软件设计的角度出发,抽象出了电力分布式计算的节点行为模型,采用该模型实现的电力分布式计算系统由数据库服务进程、计算服务进程和前台软件进程组成。系统中进程间数据通信、异构数据库访问中间件、消息协议的封装等公共基础功能解决方案因其技术的复杂性,在一定程度上影响了系统的开发进度和难度。同时,各种电力分布式计算算法理论的不断改进和发展,对此类系统的可扩展性及可维护性提出了更高的要求。该类定制软件在系统集成性、可扩展性和可重用性等方面存在一定的局限性^[4]。

微软公司在.NET框架3.0中融入了最新面向服务和通信领域应用的Windows通信基础(Windows Communication Foundation, WCF)服务技术,为企业级的面向服务架构系统研发提供了技术支撑^[5];融入了面向 workflow 应用的Windows workflow 基础(Windows Workflow Foundation, WWF)技术,为快速、可视化地构建企业级 workflow 系统提供了技术保障^[6]。

笔者在基于进程通信的电力分布式计算模型的研究基础之上做出改进,采用面向服务的软件架构方式,结合多种软件设计模式^[7-8],设计了低耦合、可扩展的面向服务的电力分布式计算系统模型,并在此模型基础上实现了电力系统的状态估计计算、等值计算和分布式潮流计算。系统模型使用WCF服务技术,并采用基于TCP协议的NetTcpBinding绑定方法,实现面向服务的分布式数据通信及其性能优化;使用WWF技术实现电力分布式计算中的各种计算业务逻辑,并结合ADO.NET数据库访问技术^[9],实现了异构数据库的集成。

1 WCF 与 WWF 技术

面向服务架构(SOA)是软件工程领域继面向组件后一种新型的系统架构方法。面向服务将业务逻辑

以技术平台无关的、可交换的、可互操作的Web服务的形式暴露给客户端,降低了系统各部分之间的耦合性,提供了可维护的、健壮的、安全的分布式应用程序解决方案。SOA中使用Web服务描述语言(WSDL)实现服务元素的公开与查找,服务提供者与服务请求者通过基于XML的简单对象访问协议(SOAP)实现数据通信^[10]。

WCF是Windows平台下开发和部署分布式系统的新型面向服务编程模型。WCF整合了.NET Remoting、Web服务、MSMQ、WSE等分布式开发技术,可以实现跨应用程序域、进程和网络的数据通讯,是微软.NET框架3.0中面向服务应用领域的一项新技术^[11]。WCF支持HTTP、TCP、Peer Network、IPC和MSMQ等传输协议,支持单调服务、会话服务和单例服务的实例管理模式,支持请求/应答操作、单向操作和回调操作的消息交换模式,支持传输安全、身份验证和授权等安全管理方法,并支持分布式事务处理及服务的并发性管理。WCF服务程序可被寄宿(Host)于任何.NET应用程序域中,并通过配置Endpoint对象的地址、绑定、契约和行为属性实现服务提供端与请求端的数据通信。WCF的通信消息格式与设定的传输协议无关,均为基于XML的SOAP消息。WCF可采用基于HTTP-GET方式的WSDL实现元数据的公开^[12-13]。

工作流对逻辑上作为一个整体协同工作的多个任务在概念上进行组合,以协调生产和管理工作,并使其按照特定的业务规则运行^[14]。WWF是微软.NET Framework 3.0提供的用于可视化地开发 workflow 应用程序的编程模型。活动(Activity)是WWF的基本构建模块。WWF提供的基于顺序执行的顺序 workflow (Sequence Workflow)和基于事件驱动的状态机 workflow (StateMachine Workflow)都由其包含的相应活动来执行具体的业务逻辑。WWF提供了持久化服务、事务服务、跟踪服务、调度服务,及分离了业务规则和逻辑的规则引擎。WWF workflow 及活动在可被寄宿于任何.NET应用程序域中的WWF运行时环境(runtime)中执行^[15-16]。

2 系统模型架构与设计

2.1 系统模型总体架构

本系统模型在电力分布式计算节点行为模型基础上加以改进,采用面向服务的方式对单个电力分布式系统节点进行架构,设计了数据实体模块、数据库服务模块、计算服务模块、远程通信服务模块和控制中心模块,系统架构设计如图1。

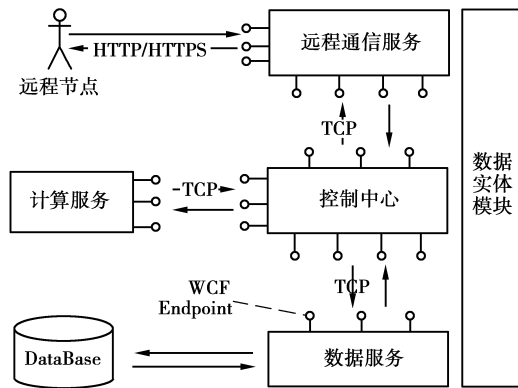


图 1 系统架构

系统模型设计并使用 Visual Studio 2008 Team System 作为开发工具平台,使用 SQL Server 2005 作为后台数据库管理系统,并设计了电力设备数据库、状态估计数据库、等值计算数据库和潮流计算数据库,用于保存计算结果。针对电网分布式计算中海量业务数据计算和数据网络通信的性能需求,及传统基于 HTTP 协议的 Web 服务在各服务间 XML 格式的 SOAP 消息传递中存在的性能瓶颈问题,将单个节点系统设计运行于本地局域网中,系统内部各模块之间通过基于 TCP 协议的 NetTcp-Binding 绑定实现 WCF 服务数据通信。NetTcp-Binding 绑定将原有基于 HTTP 协议的 XML 格式 SOAP 消息包采用二进制方式编码,可使系统通信性能在传统 Web 服务基础之上提升 5 倍,进而提供最优的模块间数据传递效率及可靠性和安全性。系统配置 WCF 实例管理模式为支持会话服务,配置 WCF 服务契约操作为默认的请求/应答模式,并配置事务处理支持,将每次的分布式计算请求纳入一个单独的事务中。远程通信模块为各个节点系统之间提供基于 HTTP 或 HTTPS 协议的 WCF 服务,以实现远程通信和数据交换。控制中心模块中的 WWF workflow 添加持久化服务,将空闲状态的工作流实例存放于后台数据库中,并配置 WWF 跟踪服务,以对系统的运行状态进行实时的监控。

2.2 数据实体模块设计

数据实体模块提供了系统框架中电力设备数据、计算数据等各种业务数据的数据实体类。该模块设计为一个 CJHJ 类库项目,各种数据实体被设计为公有的 CJHJ 类,并使用 WCF 技术中的 DataContract 属性和 DataMember 属性定义业务数据实体类及其类属性,即数据实体类对象可通过基于 XML 的 SOAP 消息在网络中序列化传输。该项目被为系统模块以及远程节点之间提供数据载体和统

一的系统数据格式。

2.3 数据库服务模块设计

数据库服务模块使用 ADO.NET 数据库访问技术提供对数据库 CRUD 操作的封装功能,并将从数据库中取得的数据映射为数据实体模块定义的数据实体对象。同时,为了提供对异构数据库管理系统的支持,模块使用了工厂方法设计模式和 .NET 反射技术,根据配置文件中的设定,动态地决定实际调用的数据库访问类。该模块设计如图 2。

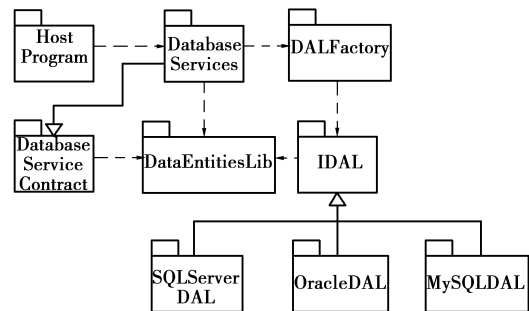


图 2 数据库服务模块设计

该模块中 DataEntitiesLib 项目是数据实体模块,提供统一的数据载体。DALFactory 是工厂类,使用反射技术动态地调用具体的数据库访问类。IDAL 项目定义了数据库操作的接口及其方法,SQLServerDAL、OracleDAL 和 MySQLDAL 项目分别根据对应的数据库管理系统实现 IDAL 接口,实现数据库数据的访问操作,及数据库数据到实体类对象的映射功能。DatabaseService Contract 项目使用 WCF 服务技术中的 ServiceContract 和 OperationContract 属性,定义了能够被远程调用的接口和方法。Database Services 项目通过调用工厂方法,提供了 WCF 服务的具体实现。Host Program 项目被设计为 Windows 服务项目,并作为该模块 WCF 服务的宿主程序。

2.4 计算服务模块设计

计算服务模块实现了状态估计、等值计算、潮流计算算法的封装,并以 WCF 服务的方式将计算方法访问接口提供给调用者。模块采用了策略模式和简单工厂模式进行设计,使用反射技术实现动态地调用的算法实现。该模块设计如图 3。

ICalc 项目引用 DataEntitiesLib 中的数据实体类,并定义了各种算法的抽象类及方法。CalcImplement 项目继承了 ICalc 项目中的抽象类,并提供算法的具体实现。Calc Content 项目采用策略模式,使用反射技术,根据配置文件中的设置,动态地调用相应的具体算法实现。对系统中各种电力分布

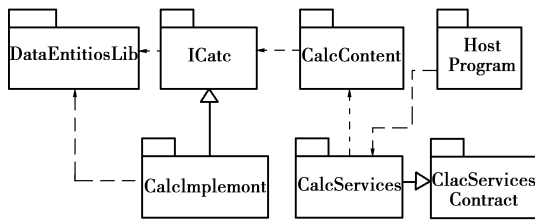


图 3 计算服务模块设计

式计算算法的更新,仅需要添加或修改相应的具体算法实现,然后重新设置系统配置文件。CalcServicesContract 项目定义了 WCF 服务的接口和方法,并在 CalcServices 项目中实现。Host Program 项目作为模块 WCF 服务的宿主程序,被设计为一个 Windows 服务项目。

2.5 远程通信服务模块设计

远程通信服务模块封装了本地系统节点与远程节点进行数据交换和数据检测功能,负责监听远程节点的数据交换请求,并维护远程节点服务信息。该模块设计如图 4。

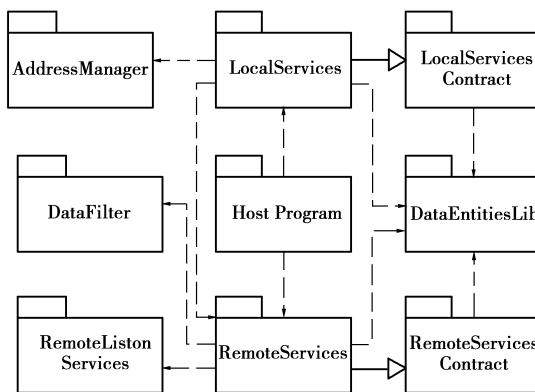


图 4 远程通信服务模块设计

LocalServicesContract 项目定义了供本地控制中心模块调用,并发起远程数据交换请求的 WCF 服务方法接口。AddressManager 项目实现远程节点服务信息的维护管理。LocalServices 项目通过引用 AddressManager 及远程节点的监听服务项目 Remote Services,实现向远程节点发送数据交换请求。DataFilter 项目实现了对传入数据的验证和过滤功能。本地的远程数据交换请求 WCF 服务接口由 RemoteServicesContract 项目定义,通过控制中心模块的 RemoteListen Services 服务,在 RemoteServices 项目中实现。该模块 WCF 服务寄宿在 Windows 服务项目 HostProgram 中。

2.6 控制中心模块设计

控制中心模块是系统的核心,负责整个系统计算任务的调度分配,及计算数据和用户操作界面的显示,并监听来自远程通信模块的远程数据交换请求。该模块设计如图 5。

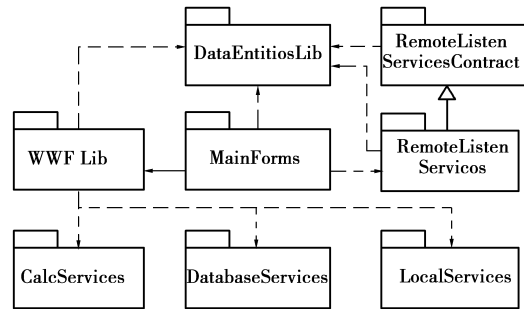


图 5 控制中心模块设计

WWFLib 项目引用数据实体库项目,并通过使用 WWF 技术,实现了状态估计计算、等值计算和潮流计算的在系统各个模块间的分布式计算业务逻辑调度。RemoteListen ServicesContract 和 RemoteListenServices 项目定义并实现了对远程节点数据交换请求的处理。MainForms 项目设计为 Windows 桌面应用程序,作为系统的用户交互界面,并作为 WWF 运行时和 RemoteListen 服务的寄宿环境。

3 系统运行效果验证

为验证系统模型的运行效果并检测系统的稳定性和安全性,建立了一个基于局域网和 Internet 的模拟电力分布式计算环境。实验配置了三个对等的分布式计算系统节点,节点内部的各模块运行于局域网中,服务器采用 Windows Server 2003 操作系统,设置了使用 SQL Server 2005 的模拟 SCADA 实时数据库,并开发了一个定时向 SCADA 实时数据库中发送电力数据的 Windows 应用程序,以模拟电力数据的采集。各个系统节点间通过 Internet 连接,并使用 HTTPS 协议实现 WCF 服务数据通信。系统连续运行实验 72 h,各种电力计算均正常运行并显示,通过查看系统控制中心模块 WWF 的跟踪服务记录,未发现系统运行异常提示。使用网络嗅探工具抓取系统节点间传递的数据包,结果显示所有数据均通过加密传输。经监测分析发现本系统模型与基于进程通信的计算模型单次数据获取、计算及存储的过程用时差约为 0.9 s,累计一百次计算运行过程用时差约为 69 s,如图 6 所示,系统运行效率能满足电力系统的应用需求。

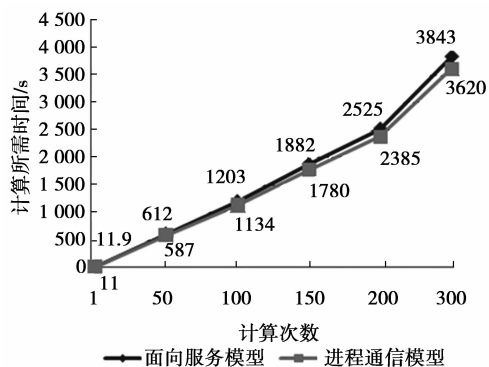


图6 系统运行效率对比

4 结 论

笔者在基于进程通信的电力分布式计算模型的研究基础之上做出改进,采用面向服务的系统架构,应用多种软件设计模式,设计并实现了低耦合、可扩展的面向服务的电力分布式计算系统模型,弥补了原有基于进程通信的电力分布式计算模型在系统进程间数据通信、异构数据库访问中间件、消息协议的封装等公共基础功能解决方案存在的技术实现复杂性问题。使用 WCF 服务实现了系统中各功能模块及系统节点之间的安全、稳定的分布式数据通信,使用 WFF 技术可视化地构建了电力分布式计算的逻辑,结合 ADO.NET 技术实现了异构数据库访问功能的封装,并实现了电力系统的状态估计、等值计算和分布式潮流计算。系统满足了电力企业利用电力分布式计算进行电网运行状态监测的业务需求,面向服务的系统架构,提高了系统的可扩展性和可集成性。WCF 技术和 WFF 技术的使用降低了系统实现的复杂性和难度,并实现了系统业务逻辑的快速可视化设计开发。

本系统的远程通信服务模块对远程节点 WCF 服务的调用是建立在远程节点服务地址与契约已知的前提之下,在后续的研究工作中,将会对即将正式发布的 .NET Framework 4.0 中 WCF 的 WS-Discovery 协议进行研究,以实现远程节点服务的动态发现和集成管理。

参考文献:

- [1] 文本颖,谈顺涛,袁荣湘. SCADA 系统中主动实时数据库技术的研究与应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(6):85-87.
WEN BEN-YING, TAN SHUN-TAO, YUAN RONG-XIANG. A study on the active real-time database and its application to the SCADA system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(6):85-87.
- [2] 张炜. 电力系统分析[M]. 北京:中国水利水电出版

社, 1999.

- [3] 文俊浩,罗逢吉,颜伟,等. 基于进程通信的电力分布式计算模型[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(1):213-216.
WEN JUN-HAO, LUO FENG-JI, YAN WEI, et al. Electrical distributed computing model based on process communication [J]. Computer Engineering and Application, 2009, 45(1): 213-216.
- [4] JUVAL L. WCF 服务编程[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.
- [5] MCMURTRY C, MERCURI M, WATLING N, et al. WCF 揭秘[M]. 北京:人民邮电出版社, 2008.
- [6] Bruce Bukovics. WF 高级程序设计[M]. 柴晓伟,译. 北京:人民邮电出版社, 2009.
- [7] 唐跃中,曹晋彰,郭创新,等. 电网企业基于面向服务架构的应用集成研究与实现[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(14):51-54.
TANG YUE-ZHONG, CAO JIN-ZHANG, GUO CHUANG-XIN, et al. Research and implementation of power grid enterprise application integration based on services-oriented architecture[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(14):51-54.
- [8] 刘真. 软件体系结构[M]. 北京:中国电力出版社, 2004.
- [9] SCEPPA D. ADO.NET 2.0 技术内幕[M]. 梁超,译. 北京:清华大学出版社, 2007.
- [10] PASATCHA P, SUNAT K. A distributed e-education system based on the service oriented architecture [C/OL]// IEEE International Conference on Web Services, Beijing, September 23-26, 2008[2008-11-11]. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4670262.
- [11] 王成良,李韧,王主丁. 应用 Silverlight 2.0 和 WCF 技术构建电网主接线图形编辑系统[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(11):85-88.
WANG CHENG-LIANG, LI REN, WANG ZHU-DING. Implementation of power grid diagram editing system based on Silverlight 2.0 and WCF technology [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(11):85-88.
- [12] MSDN. Windows communication foundation [EB/OL]. [2009-08-25]. <http://msdn.microsoft.com/en-gb/library/ms735119.aspx>.
- [13] 蒋金楠. WCF 技术剖析[M]. 北京:电子工业出版社, 2009.
- [14] 邓兆云,张建平. 电力调度生产管理信息系统的工作流系统[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(16): 78-80.
DENG ZHAO-YUN, ZHANG JIAN-PING. Workflow subsystem in the management information system for electric power dispatching [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(16): 78-80.
- [15] TROELSEN A. CJHJ 与 .NET 3.5 高级程序设计[M]. 北京:人民邮电出版社, 2008.
- [16] MSDN. Windows workflow foundation [EB/OL]. [2009-08-25]. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms735967.aspx>.