

Study on Relay Protection Setting Calculation System Based on Private Cloud Platform

Geng Liu¹, Haoye Zheng¹, Yuguang Yuan¹, Yufeng Liu², Guangxu Li²

¹Heilongjiang Power Grid Corporation, Haerbin Heilongjiang

²Join Bright, Haidian District, Beijing

Email: ligx2012@126.com

Received: Jan. 16th, 2015; accepted: Jan. 28th, 2015; published: Feb. 2nd, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

This article describes the history and current status of Setting Calculation system used by the various protection agencies and analyzes the problems faced by Setting Calculation. With the rise of cloud computing, in order to solve these problems, the National Grid raised electricity cloud applications. On this basis, this paper further proposes to establish tuning computing services based on private cloud platform facing the provincial relay protection agencies. It builds a private cloud platform based on Hadoop cluster, MapReduce framework and service, line access method to achieve cloud computing B/S mode Setting Calculation system, whose business function modules are in the form of WCF subscription service. Finally, private cloud security solutions and summary are presented. Protection for private cloud computing to achieve tuning software is of great significance for the electricity cloud construction of the national grid.

Keywords

Relay Protection, Setting Calculation, Private Cloud, Hadoop, WCF

面向私有云的继电保护整定计算系统的研究

刘 更¹, 郑浩野¹, 原宇光¹, 刘玉峰², 李广绪²

¹国网黑龙江省电力公司, 黑龙江 哈尔滨

²北京中恒博瑞数字电力科技有限公司, 北京

Email: ligx2012@126.com

收稿日期: 2015年1月16日; 录用日期: 2015年1月28日; 发布日期: 2015年2月2日

摘要

本文介绍了当前各继电保护机构使用的整定计算系统历史与现状,分析了整定计算面临的难题。随着云计算的兴起,为了解决这些问题,国家电网提出了电力云的应用。本文在此基础上,进一步提出了建立面向省地继保机构的基于私有云平台的继电保护整定计算服务。搭建了私有云平台,基于Hadoop集群MapReduce框架和服务,线接入方式实现了云计算B/S模式整定计算系统,该系统业务功能模块以WCF形式订阅服务。最后,提出私有云安全问题解决方案和总结。面向私有云的继电保护整定计算软件的实现,对于国家电网电力云的建设具有重大意义。

关键词

继电保护, 整定计算, 私有云, Hadoop, WCF

1. 引言

目前,国家电网公司在大力发展坚强智能电网,实现电网的数字化、信息化和互动化,其中智能调度是其中非常重要的一个环节。在智能调度中,继电保护相关二次部分的智能化是一个重要的组成部分。在继电保护的“灵敏性、选择性、速动性、可靠性”中除了可靠性外,其他三性均和保护定值有直接关系,故继电保护定值计算在电力系统中具有非常重要的作用。随着计算机信息技术的发展,保护定值的整定计算从手工计算时代进入计算机时代。随着省地电网运行越来越复杂,自动化水平的不断提高,已有的整定计算系统[1]-[5]的局限性充分暴露,亟待解决。

首先,已有的整定计算系统没有从全局的角度进行系统设计,仅仅从继电保护专业局部应用的角度出发进行系统设计和开发,因而只适合局部电网应用,造成省、地各局形成多个“孤岛”,数据交换、数据共享仍沿用传统模式方式进行,制约了继电保护专业管理水平的进一步提高,也与国家电网提出的“横向集成、纵向贯通”的信息发展要求不符。

其次,目前的整定计算系统的服务器均主要作为数据服务器,而非专业应用服务器,服务器强大的运算性能没有得到充分应用。母线等值阻抗、短路电流计算以及整定参数计算功能均在客户端个人PC机上大量的数学矩阵运算以求解母线等值阻抗、电流最值、分支系数以及等效阻抗等数据,耗时较长。

最后,目前各省地继保部门使用的整定计算系统均为C/S结构,系统升级时,每个客户端PC机均需要重新升级,因各个客户端PC机的环境差异,维护起来非常不方便。

随着“强交强直、先交后直”的特高压骨干网架的架设,以及电力系统互联的发展,现代继电保护整定计算系统正在演变成一个聚集大量参数数据和专业计算的系统,这也给目前的系统稳定运行与大数据分析带来了巨大的困难。针对电力系统继电保护整定计算工作当前面临的问题,结合日益成熟的云计算技术[6]-[10]为我们带来了新的机遇,建立电力系统的私有云体系,最大限度地整合当前整定计算系统的数据资源和处理器资源,将提升整张电网数据的处理和交互能力,为智能电网建设提供有力的技术保障。

继电保护整定计算私有云的建设将显著提升高性能服务器设备的利用率,降低数据处理中心的功耗,实现终端网络的互联互通、数据信息的及时共享、管理运营的高效安全,改变过去电力信息化中存在条

块分割、投资分散、建设分散等造成的重复与浪费，扭转服务器利用率偏低(不足 30%)与“信息孤岛”问题，全面提升电网数据处理的效能、效率和效益[6]。

因此，本文从电网全局的角度出发，构建一个兼顾省地高压环网和低压辐射网的继电保护整定计算的私有云体系，结合电网一体化设计思想，打造继电保护整定计算的下一代替代产品，迎合中国的大数据时代。

2. 私有云平台的搭建

基于云平台的应用交付正逐步演变成为电力行业高速发展的必然趋势。在维持现有预算水平和充分利用原有硬件环境的前提下，改进继电保护专业业务的最好方法就是利用电力专网搭建一个私有云平台，将在很大程度上整合现有的数据资源和硬件资源，采用分布式的计算框架构成规模较大的集群，把业务均部署在服务端执行，从而实现省地继保机构整定计算达到统一标准、统一流程和统一平台的目的。

2.1. 云平台结构模型

私有云平台在结构模型上，采用四层架构：基础设施层、资源池层、系统管理层和服务管理层，其中基础设施层和资源池层属于硬件资源整合(例如：CPU、存储、网络资源等)，系统管理和服 务管理层属于软件资源整合部署。基本的私有云平台结构层次模型如图 1 所示。

其中，基础设施层是私有云平台的硬件资源，包括：IBM 小型机、HP 小型机、服务器、存储设备和网络设备等。这些设备分布在不同的地理位置，各设备之间通过电力专网连接在一起。资源池层通过高性能服务器的虚拟化与小型 PC 机组成分布式集群，对资源进行分配管理、冲突管理和协同工作。主要包括：资源总线、资源接入、资源控制、资源模型和资源安全。系统管理层对部署软件(服务)进行权限分配、跟踪和控制，主要包括：用户管理、报表管理、日志管理、异常管理和更新管理。服务管理层则是软件(软件即服务)的部署，主要包括：发现服务、注册服务、订阅服务、撤销服务和帮助服务。本文的继电保护整定计算系统就运行在这个私有云平台上的服务，为各级继电保护机构提供整定计算服务。

2.2. 服务器虚拟化

为了充分利用高性能服务器硬件资源，借助服务器虚拟化技术以提升硬件资源的利用率，节省硬件投入和维护成本。本文因采用了 WCF 技术开发服务，故采用微软的 Hyper-V Server 系统虚拟化服务器所有硬件资源(例如：服务器 32G 内存/4CPU8 核，划分 15 个 2G 虚拟机)，通过 Hyper-V Client 创建多台虚拟机，虚拟机采用 Win7 的 64 位操作系统。

2.3. 分布式集群

因私有云平台由大规模集群支撑，我们需要把原有小型 PC 机和高性能服务器虚拟化后，通过电力专网互联构成分布式集群。本文采用开源的 Hadoop 技术，借助 Cygwin 在 Windows 操作系统上以分布式文件系统 HDFS 和 MapReduce 框架实现分布式计算平台。对于支持私有云平台的 Hadoop 集群，分为两大类角色：主节点(Master)和从节点(Salver)。分布式文件系统 HDFS 由一个 NameNode 和若干个 DataNode 组成，其中 NameNode 作为主服务器，管理文件系统的命名空间和客户端对文件系统的访问操作；集群中的 DataNode 管理存储的数据。而 MapReduce 框架是由一个单独运行在主节点上的作业跟踪器(JobTracker)和运行在每个集群从节点的任务跟踪器(TaskTracker)共同组成的。主节点负责调度构成一个作业的所有任务，这些任务分布在不同的从节点上。主节点监控它们的执行情况，并且重新执行之前的失败任务；从节点仅负责由主节点指派的任务。当一个 Job 被提交时，JobTracker 接收到提交作业和配置信息之后，就会将配置信息等分发给从节点，同时调度任务并监控 TaskTracker 的执行，直到 Job 的所有

分发任务执行完毕。等到所有 Map 任务完成后，它会进入下一个步骤，用以合并这些中间文件获得最后的输出文件。此时，系统会生成若干个 Reduce 任务，同样也是分配到不同的机器去执行，它的目标，就是将若干个 Map 任务生成的中间文件为汇总到最后的输出文件中。如下图 2 所示。

在服务器虚拟化时，为了节省 Hadoop 集群的配置时间，我们通过一台虚拟机的安装配置完成后，以复制的形式完成多台虚拟机的创建。然后，通过 SSH 配置无密码公钥认证的形式完成 Hadoop 集群之间的通信。最后，分配两台机器作为主/备主机(Master)，其余虚拟机或小型 PC 机作为从机(Slaver)，构成分布式并行环境。这种并行环境的最大优点是可以很容易的通过增加计算机资源来扩充新的计算结点，并由此获得海量的计算能力，同时又具有相当强的容错能力，一批计算结点失效也不会影响计算的正常进行以及结果的正确性。

3. 继电保护整定计算服务设计与实现

在私有云平台的基础上，按照统一的设计思想、统一的功能体系实现适用于省地继电保护机构统一的继电保护整定计算系统。各级继电保护机构获取管理员权限认证后，通过本地浏览器登陆整定计算系统，建立本机构的人员及权限，使用整定计算软件的各项功能。这样充分利用私有云平台的强大计算能

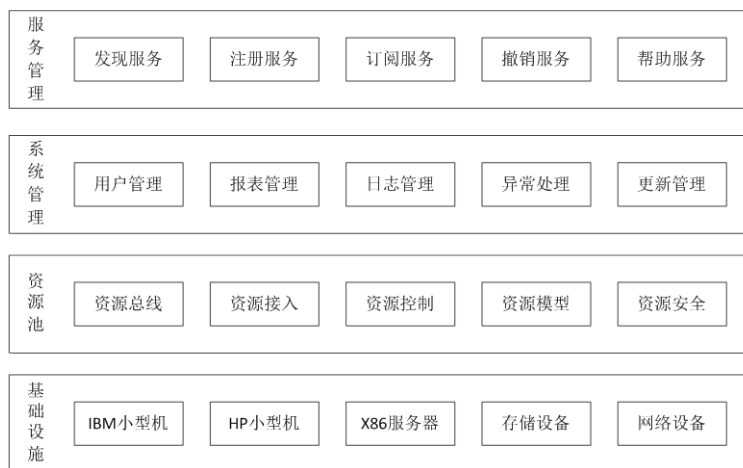


Figure 1. Model of Private Cloud

图 1. 私有云的结构模型

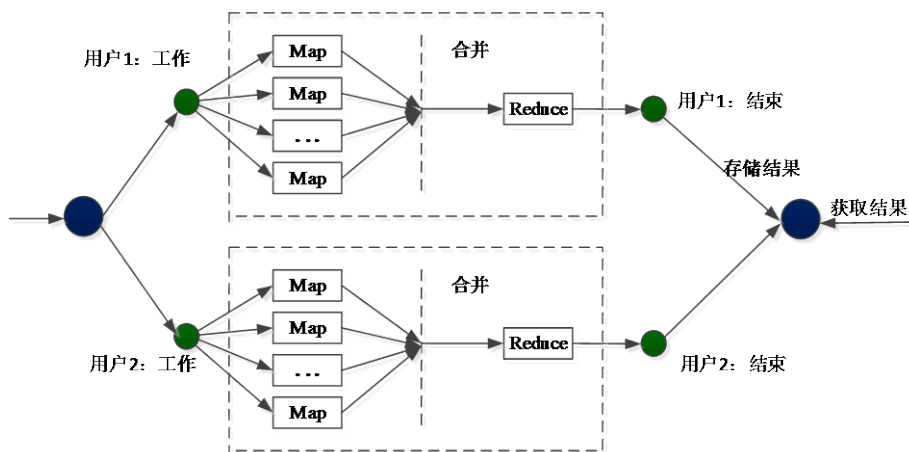


Figure 2. The framework of MapReduce

图 2. MapReduce 框架

力和存储能力，将极大提高省地继保一张网的母线等值阻抗计算及整定参数计算的效率。

3.1. 设计目标

整定计算系统的主要目标如下：

- (1) 实现基于同一电网模型的省地一体化整定计算应用；
- (2) 实现私有云整定计算服务，将耗时的继电专业计算放在分布式集群上进行；
- (3) 实现软整定计算应用和定值单管理应用，无需安装客户端；
- (4) 实现统一的云端权限管理机制，确保多级应用的安全性；
- (5) 实现基于分层分区的电网图形化建模功能，通用的适用于高压环网、低压辐射网应用的故障计算平台，实现面向原理和面向各种不同类型保护装置的整定计算，实现完善的数据查询管理功能；
- (6) 实现定值单的生成、审批、下发、执行、归档全过程管理。

3.2. 功能架构与实现

整定计算系统建立在私有云平台之上，是面向服务的系统。该系统的功能模块主要包括：用户权限、拓扑分析、故障计算、整定参数计算、原理整定、装置整定、定值校核和数据管理。为了实现云平台的分布式计算，实现了企业服务总线，实现 MapReduce 框架协调 Hadoop 集群 Master 节点实现分布式计算。功能结构如图 3 所示。

其中，访问层主要包括：界面展示 UI、绘图控件和服务访问接口。企业服务总线主要包括：用户权限、异常处理、软件更新、并行参数获取以及实现分布式计算框架的 MapReduce。系统的八大功能模块以 WCF 服务形式纳入总线，部署在 Hadoop 集群从机(Slaver)上。该系统从业务角度主要实现如下功能：

(1) 一体化数据整合

将省、地继电保护整定计算数据进行整合，包括一次设备模型和二次设备模型。将全省电网连接为一个整体，综合考虑设备参数、拓扑关系、运行方式，形成所需的基础运算模型。将二次设备统一建模，对保护整定原则、参数配置等统一规范，形成完善的整定计算中心。在统一电网模型下，将设备所属调度范围和人员所属调度范围进行匹配，确定各类数据的读取权限和改写权限。

(2) 图形建模

提出了一种全新的建模方法。首先通过归纳整理得到继电保护整定计算相关的所有一次设备的集合，把这些一次设备作为图形的基本单元建立图元对象库(图元库)，图元对象封装了图形属性和电气属性，而电气属性则定义了完整的字段描述，在此基础上进行建模。网络的物理模型建立后，软件自动实时地进行网络拓扑分析，进行节点编号，生成故障分析和整定计算所需的数学模型。

软件中的图形可以分层分区显示，该功能是采用图形控件实现的，进而实现浏览器的绘图功能。

(3) 故障分析

电力系统故障分析、故障计算是继电保护整定计算和定值校验的基础。为提高系统计算速度，对算法进行优化，大多数情况下采用了成熟的节点阻抗法，个别情况应用节点导纳法并辅之稀疏矩阵法建立通用的电网故障分析模块，其通用性体现在：

- ① 自适应任意多回线路间零序互感情况；
- ② 任意网络连接情况的故障计算；
- ③ 节点等值计算；
- ④ 标准化的输出；
- ⑤ 故障分析，包括测量阻抗计算、分支系数计算；

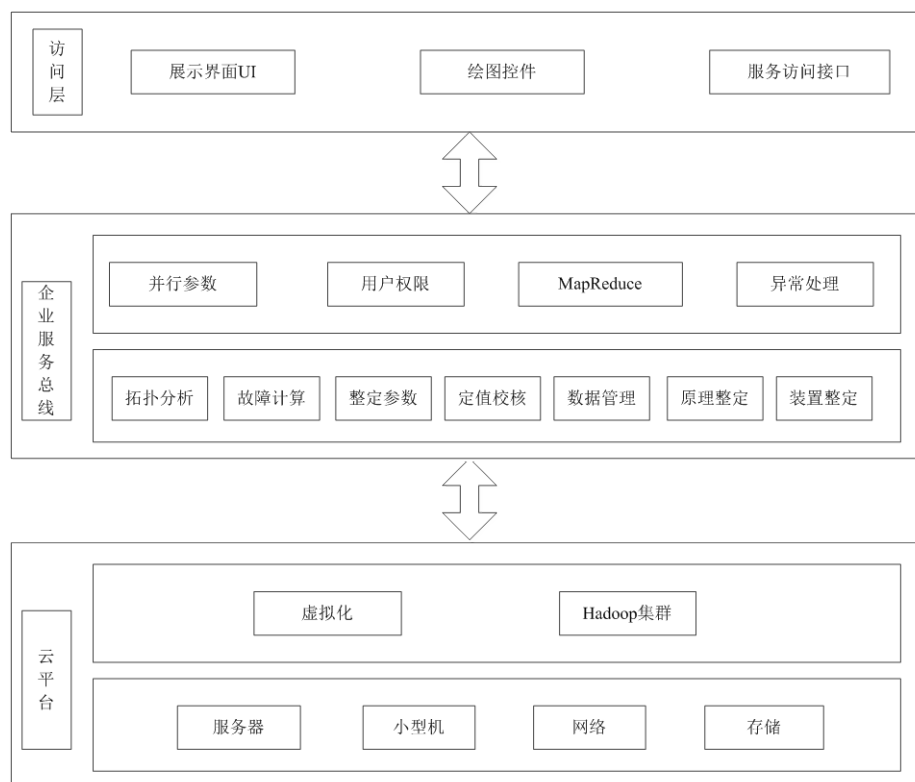


Figure 3. Functional architecture
图 3. 功能架构

对应网络较大、运算速度较慢的问题，采用分区和分方式并行计算模式，部署在私有云平台上将极大的提高了运算速度。

(4) 保护定值整定

依据部颁整定规程提供的电网继电保护整定原则，实现线路的相间距离保护、四段式零序电流保护、接地距离保护、阶段电流保护、变压器后备保护进行整定。每一种保护类型的所有整定原则以可选列表供用户按实际情况组合、选择，整定方法包括自动整定和手动整定，同时输出计算书。自动整定的实现方法是首先搜索所有保护安装处的保护配置信息和保护整定原则的设置信息，再调用各保护安装处的电气量、下一级保护定值及整定原则相关的系数进行自动计算。当遇到“环网”出现软件“死锁”的情况，软件采用了“堆栈”技术并辅之以人工干预来解决。手动整定的实现方法是按照人工整定的思维过程提供了一个高智能、全程交互的计算流程，由用户按步骤操作快速完成整定。自动整定、手动整定的有机结合既保证了定值的准确性，又提高了整定工作的时效性。

实现基于装置定值的整定计算：首先对原理性定值按照保护原理完成整定计算，再结合实际保护装置，编辑设置装置所有定值项的配置、整定原则，对于辅助定值根据厂家说明书要求定义其计算公式，软件对计算公式进行解析，对计算公式中的的变量赋值或关联，然后计算得到所有装置定值的整定结果。

(5) 数据管理

继电保护整定会涉及到大量的相关数据，同时也会产生大量数据，包括一次设备数据、保护装置本身信息、定值、故障计算数据等。通过仔细地分析归类，并参照“国调继电保护专业数据库标准”设计了大量的数据库表单进行存取，按照资源树方式进行查询，对这些数据信息进行了高效管理。

(6) 定值单全过程管理

管理定值单的全生命周期，对定值单的生成、审批、下发、执行、归档进行全过程跟踪。

综上，基于继电保护专业业务分析和 Hadoop 分布式集群的特点，省地一张网模式下耗时较长的故障计算(母线等值阻抗计算、简单故障分析)、整定参数计算、原理整定、装置整定和定值校核通过并行粒度拆分后，调用私有云分布式计算平台计算。其余模块耗时较短，采用服务总线分配机制来访问服务。

3.3. 数据库策略

在私有云平台下部署的整定计算系统，属于电力专网 Intranet 范畴，故数据库采用微软 SQL SERVER 2008 的共享数据库共享模式(Schema)，即用一个数据库和一组数据表来存放所有省地用户的数据。这种模式下一个数据表内包含了多个用户的记录，由用户 ID 和公司 ID 两个字段共同来唯一确认哪条记录是属于哪个公司用户的。这种共享模式的方式具有最低的硬件成本和维护成本。

因所有公司用户使用同一套数据表，整定计算系统在访问层保证了数据安全性，以确保一个公司的所有用户永远不会因系统异常而访问到其它公司用户的数据。数据库采用主/备动态切换模式，恢复备份数据时，解压备份数据到临时服务器存储空间，选定待恢复的数据表，确定要恢复的公司用户，再导入到系统的主数据库内。这种方法对其它公司用户数据不产生任何影响。

3.4. 基于私有云的软件部署

我们开发的继电保护整定计算系统 WEB 程序称为 RelayCloud，服务总线程序称为 RelayEBS，功能服务程序称为 RelayServices。在私有云平台 Hadoop 集群主节点(主/备 Master)上部署 RelayCloud 和 RelayEBS，所有从节点(Slaver)上部署执业务功能任务的程序 RelayServices(即：并行粒度拆分独立运行的业务功能单元)，主从节点部署的程序最终将通过 WCF 服务访问的形式相互调用。同时，具备主节点的主备切换机制和从节点的动态增加和减少的可伸缩性。软件部署如图 4 所示。

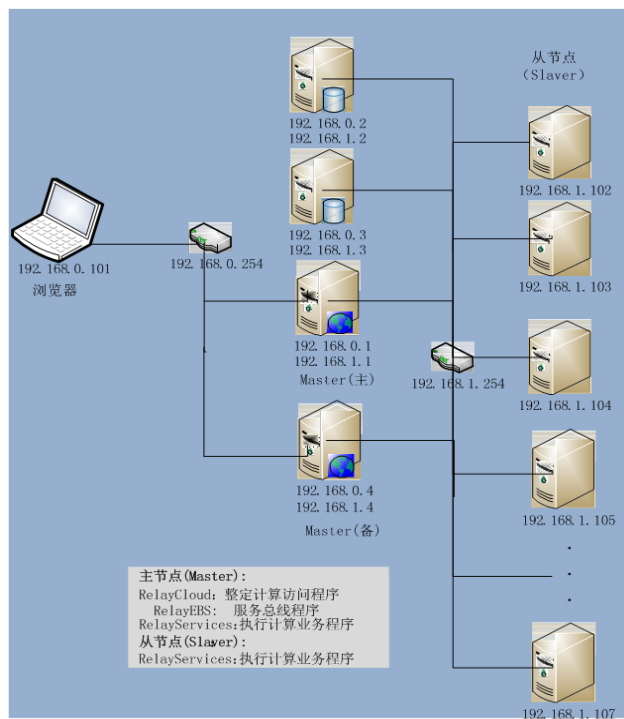


Figure 4. Software deployment of private cloud platform
图 4. 私有云平台软件部署

其中,两台互备的数据库服务器分别为 192.168.0.2 和 192.168.0.3,两台互备的主节点(Master)服务器分别为 192.168.0.1 和 192.168.0.4。其余从节点(Slaver)分别为 192.168.1.102~192.168.1.254,可实现资源的动态投入和退出。整定计算采用服务总线模式,既可以降低服务供应者和消费者之间的耦合,又可以将业务逻辑同 WEB 服务分离,实现了在私有云平台 Hadoop 集群部署的灵活性。

4. 私有云安全问题

国家电网电力企业对于云计算,特别是公有云计算比较谨慎,主要出于数据安全方面的考虑,包括数据备份和数据私密性。而基于电力专网的私有云,它能够屏蔽互联网外部发起的恶意破坏和攻击,即满足了电网安全建设的前提,又实现了对内部数据进行保密,已成为企业内部信息化安全建设的首选。但企业内部的攻击仍不可小觑,仍需要做好电力调度数据和网络的安全,防止由此引起电力系统故障[7]。

本文私有云 Hadoop 集群的 HDFS 分布式系统与 SQL SERVER 数据库协作解决整定计算过程中电网数据安全存取和完整性问题,即在处理一个任务时同时由多台计算机处理一小部分,多处备份,防止硬件损坏或异常时发生电网数据丢失等情况。HDFS 建立在更多地响应“一次写入、多次读写”任务的基础上,一个数据集一旦由数据源生成,就会被复制分发到不同的存储节点中,然后响应各种各样的数据分析任务请求。

对于敏感数据私密性,本文对涉及到的账号密码采用不可逆的 MD5 加密算法。服务器虚拟化的管理采用不低于 10 位有规律的动态密码机制。业务功能服务接口的调用采取安全认证机制,用户认证通过后才能使用服务。通过服务交互的所有数据操作都基于加密后的密文传输,即使截取到也无法看到明文数据,进一步保证系统的数据安全性。

5. 总结

该系统经过严格的出厂测试,每千行代码缺陷率控制在 2.3%以下。2014 年 6 月在国网黑龙江省电力公司部署该系统,经过三个月的试运行,系统很好的满足了继保专工的业务和计算要求,在规范继电保护业务流程的同时也大大提高了工作的效率。9 月份顺利通过验收,并转入正式运行阶段。

基于私有云平台的 B/S 整定计算系统优势在于:1) 对数据及安全性提供有效控制,尤其对电力企业而言,业务数据是其核心,是不能受到任何形式的威胁的;2) 更高的服务质量,电力企业网安全可靠,基于电力专网访问私有云的应用时,不会受到网络不稳定的影响;3) 充分利用现有硬件和软件资源,体现在可以利用现有的硬件和软件资源来构建电力私有云,也不用申请大量公网 IP,这样将极大降低企业的成本支出;4) 部署和升级方式灵活,系统所有的部署和升级工作在服务端进行,并将继电保护专业数据运算服务放在私有云云端的服务器集群上,可灵活升级部署。5) 基于私有云的省地一体化整定计算应用通过统一标准、统一流程、统一平台规范了全省的整定计算工作,全省一张电网模型避免了大量等值数据交换带来的计算结果不够准确的问题。

基于私有云平台的 B/S 整定计算系统已经具备了整定计算精度高、速度快、整定方案优化等特点,且系统自动化程度高、人工干预少、并具有全过程的定值管理功能,将极其耗费计算资源的短路计算和整定计算工作放到云计算中心的服务器集群中运行处理,为提高全省继电保护专业整定计算工作的自动化水平和管理水平打下坚实基础。其准确性和快速性,必将对电力系统稳定运行产生积极的作用。

参考文献 (References)

- [1] 唐茂林,王伟(2009)基于保护装置模版的四川线路继电保护整定计算系统. *电力系统保护与控制*, 15, 95-99.

- [2] 张伟 (2011) 继电保护整定计算软件的应用开发. 硕士论文, 河北农业大学, 保定.
- [3] 李银红, 王兴华, 骆新, 等 (2001) 电力系统继电保护整定计算软件的研究. *继电器*, **12**, 5-7.
- [4] Zhang, H., Zhao, D.-M., Zhang, X., et al. (2010) Research and development of integration of graph, model and data-base tool in power plant relay protection intelligent setting calculation system. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, Chengdu, 28-31 March 2010, 1-4.
- [5] Yang, F., Zhao, D.-M., Zhang, X., et al. (2010) Research of relay protection setting calculation system for power plant based on multi-agent. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, Chengdu, 28-31 March 2010, 1-4.
- [6] 潘睿, 刘俊勇, 郭晓鸣 (2009) 面向智能电网的电力系统云计算. *四川电力技术*, **12**, 6-10.
- [7] 王利赛, 杨明玉, 孙月琴 (2011) 电力云研究综述. *电力信息化*, **5**, 20-22.
- [8] 乐全明, 郁惟镛, 杜俊红 (2004) 基于 J2EE 架构的继电保护定值管理系统的设计与开发. *继电器*, **21**, 41-44.
- [9] 王龙, 万振凯 (2009) 基于服务架构的云计算研究及其实现. *计算机与数字工程*, **7**, 88-91.
- [10] 宋国兴, 姜东飞, 石海珍, 等 (2010) 云计算与桌面虚拟技术在省电力公司应用探讨. *电力信息技术*, **1**, 104-108.