



基于云平台的电力通信网运行支持系统

杨志敏, 洪丹轲, 王力, 谢俊毅

(中国南方电网电力调度控制中心, 广东 广州 510525)

摘要: 电力通信网运行支持系统是通信网日常调度运行工作的技术支持系统, 其安全可靠运行对通信网安全运行至关重要。提出了一种基于云平台的电力通信网运行支持系统高可用性架构, 并介绍了其在电力企业中的实践情况。最后给出了系统高可用性评估模型和仿真情况, 结果表明该系统架构显著提高了系统的可靠性。

关键词: 电力通信网; 运行支持系统; 云平台; 高可用

中图分类号: TN915.853

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020057

Operation support system of power communication network based on cloud platform

YANG Zhimin, HONG Danke, WANG Li, XIE Junyi

Power Dispatching & Control Center of China Southern Grid Co., Ltd., Guangzhou 510525, China

Abstract: Electric power communication network operation support system is a technical support system for daily dispatching and operation of communication network. Its safe and reliable operation is very important for the safe operation of communication network. A high availability architecture of power communication network operation support system based on cloud platform was presented, and its practice in power enterprises was introduced. Finally, the system high availability evaluation model and simulation results were given. The results show that the system architecture significantly improves the reliability of the system.

Key words: power communication network, operation support system, cloud platform, high availability

1 引言

电力通信网承载了继电保护、稳定控制、调度自动化等电网安全稳定实时控制系统通信通道, 其安全可靠运行是电网实时运行控制系统正常运行的前提和基础。电力通信网作为保障电网

安全稳定运行的基础性资源^[1], 伴随着电网的发展, 其重要性越来越突出。

保障通信网安全可靠运行是保障电网安全稳定运行的内在要求, 对通信网安全运行工作要求不断提高, 相应的保障通信网安全可靠运行的难度也明显增加。随着通信网规模扩大, 日常运行

收稿日期: 2019-10-31; 修回日期: 2020-02-27

基金项目: 中国南方电网有限责任公司重点科技项目 (No. ZDKJXM20190013)

Foundation Item: The Key Technology Projects of China Southern Power Grid Co., Ltd. (No. ZDKJXM20190013)



工作随网络规模线性增长,相应工作量增加明显。随着通信网新技术发展与应用,通信网驾驭的难度也显著增加。

面临业务部门对通信的安全可靠性要求逐年提高、通信网规模扩大和新技术运行等方面的压力,通信运行工作必须依靠技术进步,建设通信网运行支持系统,为通信网安全可靠运行提供先进智慧的技术支撑工作。电力通信网运行支持系统^[2]主要包括电力通信网资源管理、通信网运行综合监视、通信网运行工作控制、统计分析等功能,为通信实时运行、资源调度、工作管控和专业管理工作提供技术支撑。

2008—2012年,国内电力企业普遍建设完成通信网运行技术支持系统。当时系统的主流架构以小型机物理服务器作为计算资源搭建的平台^[3]。随着信息通信技术的进步,特别是近年来云计算技术的飞跃式发展,信息通信基础设施迎来了新一轮的更新迭代。

云计算平台具有业务上线周期短、运维自动化程度高、系统高可用性、计算存储资源综合利用率高、云组件功能丰富等优点,已被各行业广泛应用并改造传统的信息通信系统。参考文献[4-9]介绍了云计算的技术、应用及发展情况。参考文献[10-15]介绍了云计算平台在教育、船舶、电力信息化、电力调度等行业中的应用。

鉴于电力通信网运行支持系统的技术特性和网络复杂性(如涉及与安全二区通信网管的连接与数据采集,系统功能主要部署在安全三区),现有的研究成果难以直接应用,且尚未查阅到基于云平台的电力通信网运行技术支持系统架构设计方面公开发表的研究成果。

本文介绍了一种基于云平台的电力通信网运行支持系统架构和具体实践,支持从基于小型机物理服务器的传统架构平滑演进,并实现高可用性改造和关键功能的微服务改造。最后给出了系统高可用性评估模型和仿真情况,结果表明该系

统架构显著提高了系统的可靠性。

2 传统架构

云计算技术大规模应用前,信息系统的典型结构是基于小型机物理服务器为计算资源搭建的传统架构。基于此结构的电力通信网运行支持系统传统架构如图1所示,主要由5部分组成:安全二区采集网管数据的采集服务器及其网络、安全三区的数据库服务集群、安全三区的应用系统及其网络、安全二区与安全三区边界的横向安全隔离装置以及安全三区与用户边界的安全防护设备。

该架构中,所有的服务器均为小型机物理服务器,系统主要特性描述如下。

(1) 安全二区服务器采用“一机多接口程序、主备热备用”的方式,实现网管数据采集,完成数据解析后通过正向隔离装置发至安全三区数据库存储。安全二区各网管服务器之间,通过交换机 VLAN 隔离。

(2) 安全三区数据库服务器双机组成小集群,数据库服务双机实时热备用,提供浮动 IP 地址对外服务,实现所有结构化数据的存储和管理。

(3) 系统所有非结构化数据均存储在服务器本地存储单元。

(4) 安全三区应用服务包括资源管理、综合监视、运行控制、统计分析、单点登录 5 种,除统计分析服务外,其他应用服务均在主备服务器部署同版本应用程序,主服务器对外单机提供服务。因没有共享存储,主备服务器无法保持非结构化数据实时同步,备用服务器做冷备份运行,并与主用服务器定时同步非结构化数据。

(5) 主用服务器出现故障后,通过安全三区与综合数据网边界的防火墙人工修改业务系统映射地址,将用户访问地址指向备用服务器,实现业务快速恢复,并同步开展主用服务故障分析和修复。

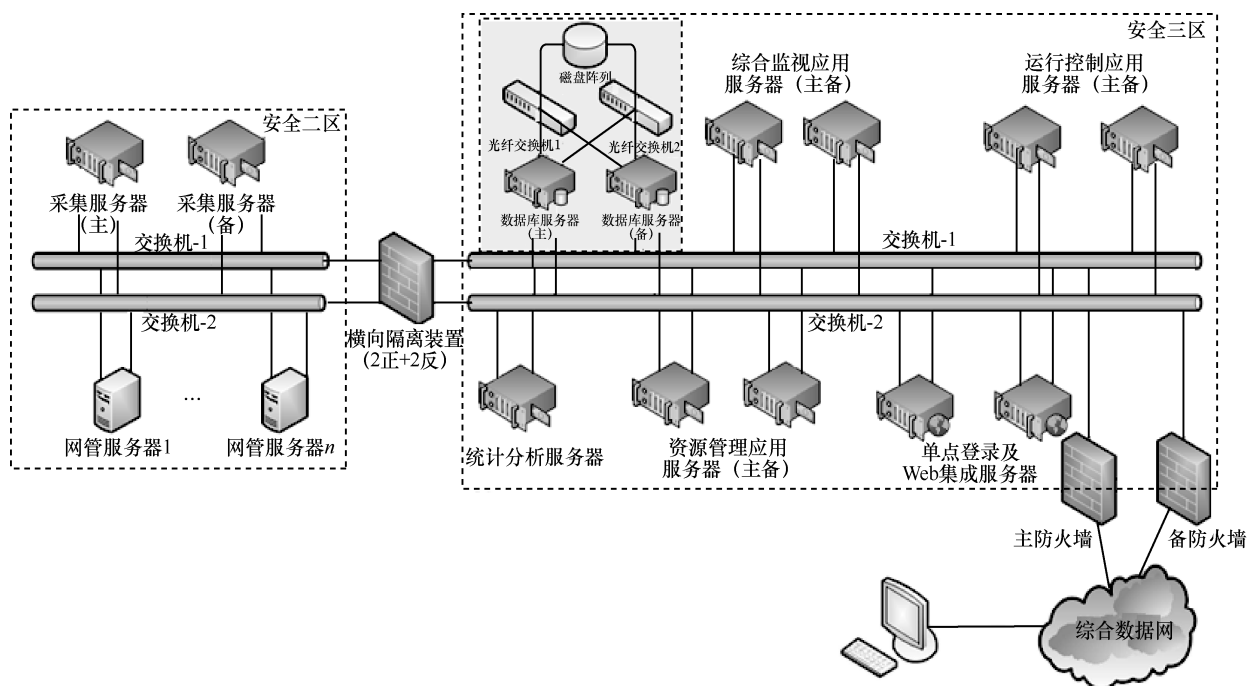


图1 电力通信网运行支持系统传统架构示意图

该架构的主要缺点是业务系统服务是冷备用，主要原因是没有共享存储导致主备机非结构化数据无法实时同步。一旦安全三区系统服务出现故障后，需要人工修改部分配置才能恢复。若故障发生在非工作时间，则需要系统管理员从住所赶赴中心机房，相对抢修耗时较长。系统不可用可能对电力通信网日常的正常运行工作造成极大的影响，甚至可能导致通信网故障不能及时发现等安全事件。

3 基于云平台的系统架构

3.1 云平台的通用结构

云平台的通用结构典型示意图如图2所示，应用虚拟化技术将服务器CPU等运算资源、内存硬盘等存储资源、交换机防火墙等网络资源全部虚拟化，形成以虚拟主机（VM）为载体的虚拟运算存储资源、虚拟交换机、虚拟防火墙、虚拟负载均衡等资源。虚拟资源可实现与对应物理资源完全相同的功能，并实现虚拟资源之间的逻辑隔离。云平台还提供了一系列的基础服务，如分布

式数据库、分布式文件系统、多种虚拟操作系统、分布式存储服务、共享存储服务、分布式计算服务等。平台的基础资源和基础服务能力可简化系统开发并显著缩短业务系统上线周期。云平台具有强大的资源管理和调度功能，不同情况下虚拟机故出现障后可根据策略快速自动分配资源实现故障虚拟机的替换，让业务系统基本无感知，显著提高系统的可用性。

3.2 基于云平台的电力通信网技术支持系统架构

基于云平台的电力通信网技术支持系统架构如图3所示，该方案是从基于小型机物理服务器的传统架构平滑演进至云架构的，并充分利用云平台的特性解决了传统架构存在的一些不足。基于云平台的系统架构特性如下。

（1）考虑到安全二区采集系统功能单一、服务器数量少、不能发挥云平台的经济性，采集服务器依然采用基于小型机物理服务器的方式部署，相应的采集程序运行方式与第2节所述的传统架构相同。

（2）安全二区增加防火墙，对采集区进行安

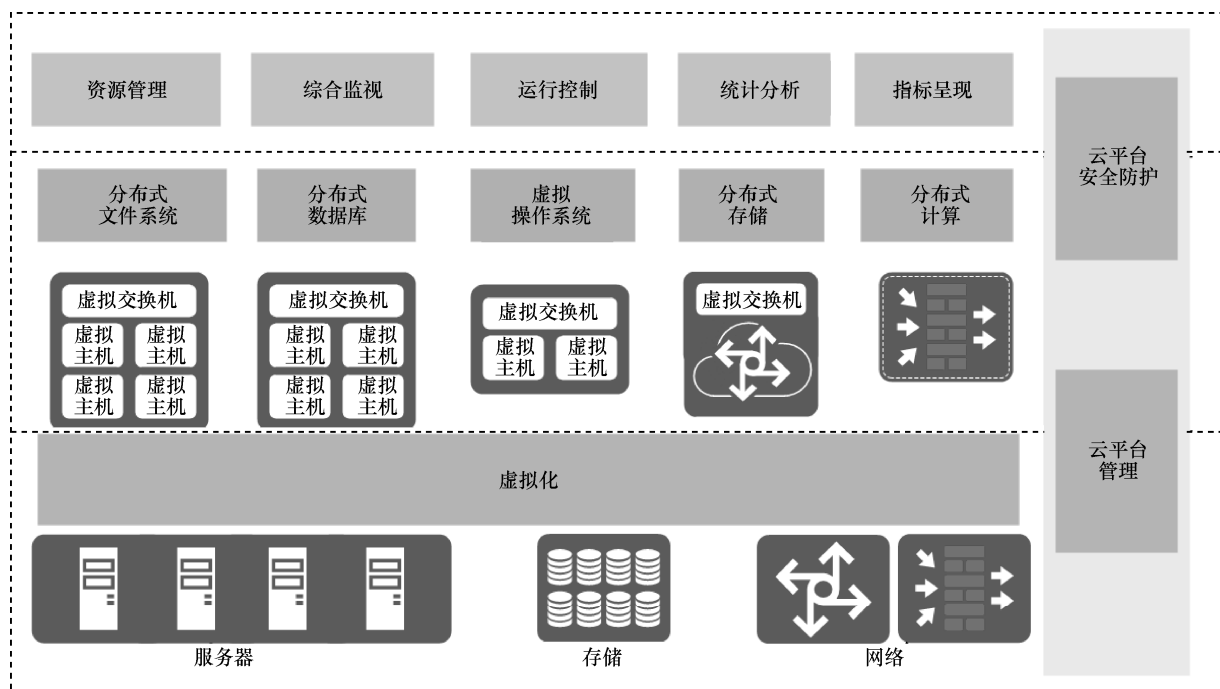


图2 云平台的通用结构典型示意图

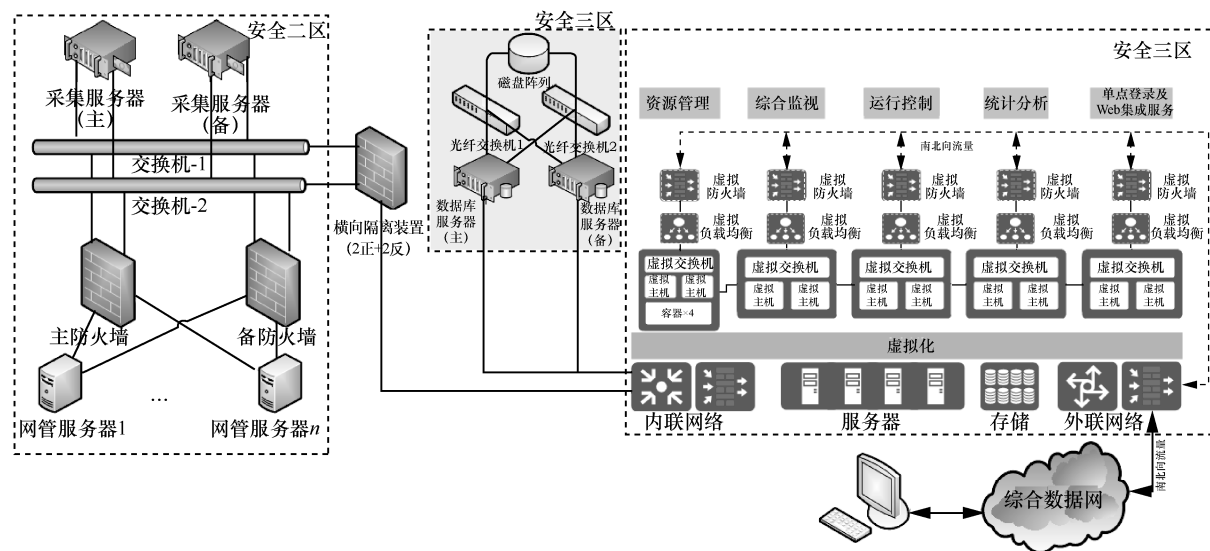


图3 基于云平台的电力通信网技术支持系统架构

全加固,在交换机 VLAN 隔离各网管服务器之外,增加防火墙隔离措施并设置最小化访问需求白名单策略,提高网管的安全防护水平。

(3) 安全三区业务系统全部迁移至云平台,5 个业务系统全部配置主备双虚拟机服务器,主备服务器部署相同版本的应用程序,并采用云平台提供的共享存储服务实现应用服务非结构化数据的

实时共享,解决了传统架构中存储原因导致的主备服务器不能热备用运行的不足。

(4) 安全三区的 5 个业务服务,主备服务实时热备用运行,用户访问请求通过虚拟负载均衡进行自动调度,实现流量均衡和服务高可用性。每个应用服务通过虚拟防火墙进行安全加固,提高网络安全性。

(5) 安全三区通信网资源管理应用中, 针对 $N-1$ 分析功能被调用的频度高、用户对运行速度响应要求高、系统功能单一但运算量大的特点, 恰好符合云平台中容器技术的应用场景^[9]。为此对 $N-1$ 功能进行微服务化改造, 将其运行在容器上, 为用户开展通信网 $N-1$ 分析功能提供快速响应, 同时减轻资源管理模块虚拟主机的运算负载。

(6) 鉴于安全三区云平台未采购商业化的关系型数据库, 为实现原有 IT 资产的利用效率并兼顾系统应用程序的数据库兼容性, 将安全三区数据库仍然放在云下单独运行, 应用小型机物理服务器组成集群, 数据库运行在实时热备用状态, 通过浮动 IP 地址为安全三区云平台提供关系型数据库服务。

(7) 云平台与企业综合数据网通过防火墙隔离。云平台的南北向流量分别经过外联的物理防火墙和虚拟防火墙进行安全隔离, 提高系统的安全性。

(8) 安全三区云平台中, 任一虚拟主机出现故障后, 云平台可根据预设的策略自动分配一台新的虚拟主机代替故障主机实现故障的快速隔离和服务的自动恢复。新恢复的虚拟主机与故障主机完全一致, 包括操作系统、应用程序、数据及参数配置。

(9) 安全三区云平台中, 若虚拟主机运行正常, 但应用服务程序原因导致服务不可用, 则负载均衡将所有流量指向运行正常的虚拟主机, 同时平台发出告警给管理员。系统管理员组织排障和抢修, 服务恢复后, 系统自动将其加入可用资源队列进行资源调度。

3.3 云平台系统架构应用情况

根据第 3.2 节描述的基于平台的电力通信网运行支持系统架构, 在本单位完成了从基于小型机物理服务器传统架构的通信运行支持系统向云平台的迁移和微服务改造。云平台采用公司统一的调度云, 基于 x86 服务器, 云平台使用飞天操

作系统。新的架构下, 系统共计 5 个应用服务 10 台虚拟主机; 此外还配置了镜像系统用于开发和上线前测试, 配置了数据备份服务器和系统代码管理服务器。运行系统、镜像系统和其他相关系统共计 23 台虚拟主机。

上云改造后, 系统应用程序不做任何改造即可提供与原来一致的功能服务, 数据库服务器和软件均利旧, 最大程度提高了 ICT 资产的利用率。针对通信网资源管理模块 $N-1$ 分析功能被调用的频度高、用户对运行速度响应要求高、系统功能单一但运算量大的特点, 对 $N-1$ 功能进行微服务化改造, 将其运行在容器上, 为用户开展通信网 $N-1$ 分析功能提供快速响应, 同时减轻资源管理模块虚拟主机的运算负载。

经过不断调优和迭代改进, 云上系统运行稳定, 系统可抵抗任意 $N-1$ 故障, 极大提升了通信网运行技术支持系统的运行可靠性, 为通信网的运行提供了更加安全可靠先进的技术支撑, 具体如下。

(1) 硬件层面, 经过测试平台中任何一台物理硬件退出运行, 不影响平台功能, 用户完全无察觉。实际运行中发生一次因其中一台 x86 服务器物理网卡故障导致退出服务, 云平台立即发出告警并自动隔离了该故障服务器, 虚拟主机和系统应用服务未受影响。

(2) 软件层面, 经测试任一应用程序单一故障, 不会导致系统应用服务不可用, 同时系统可自动快速检测并通知管理员消缺。实际运行中发生一次综合监视模块虚拟主机 A 对应的应用程序日志文件过大, 超出预设的存储空间, 导致该机应用程序退服, 云平台立即发出告警, 同时虚拟负责均衡立即将用户请求全部切换到虚拟主机 B, 保障了系统对外服务不中断。

基于云平台的通信运行支持系统响应速度改善明显, 系统响应用户操作请求的时间明显缩短。以通信资源管理模块传输网链路 $N-1$ 分析功能为



例,某速率为 10 Gbit/s 的光纤链路承载各类通信通道 854 条,对该链路做 $N-1$ 故障分析测试。系统测试工作均在系统启动后立刻开展,取 3 次测试平均值,云下系统耗时为 32.4 s,云上系统耗时 12.9 s,响应速度提升约 60.2%,效果明显。

4 可靠性分析及仿真

4.1 单机故障后系统可靠性模型分析

传统架构和云平台架构的电力通信网运行支持系统,在可靠性方面的区别主要是基于云平台架构的系统是主备应用服务实时热备用运行,在任一单个软硬件故障后,系统均可自动切换,应用服务不可用时长为零。只有主备虚拟主机的应用程序均故障的情况下,应用服务才中断。而传统架构的系统,主备应用服务是冷备用运行,任一单个软硬件出现故障后,均需要手工修改防火墙配置后才能恢复备用系统。

用 p_1 表示单个应用服务故障的概率:

$$p_1 = 1 - (1 - p_h)(1 - p_s) = p_h + p_s + p_h p_s \quad (1)$$

其中, p_h 服务器硬件或操作系统故障导致的主机故障概率,该情况下也将直接导致单个应用服务故障,因此, p_h 也等效为服务器硬件或操作系统故障导致的单个应用服务故障。 p_s 为应用程序自身原因导致的单个应用服务故障概率。

基于云平台架构的系统,多种原因导致虚拟主机故障的情况,云平台均可根据预设的策略自动分配一台新的虚拟主机代替故障主机实现故障的快速隔离和服务的自动恢复。整个过程用户甚至不会察觉,等效于没有发生虚拟主机故障。因此分析中可等效为 $p_h = 0$ 。

基于小型机物理服务器的架构中,一般而言,小型机服务器的平均无故障时间 (mean time between failures, MTBF) 大于 10 万小时 (约 11.4 年),即服务器第一次发生故障时间距离出厂时间的平均值大于 11.4 年。因此 p_h 很小,为便于分析可取 $p_h \approx 0$ 。

综上所述,式 (1) 可简化为:

$$p_1 = p_s \quad (2)$$

用 h_1 表示单个服务中断之后至服务抢通恢复所需要的时长,显然该时长取决于恢复服务所用的方法。传统架构中,采用手动修改边界防火墙的配置方式恢复服务,该时长包括服务中断故障发现所需时长、管理员前往中心机房的时长以及修改配置并生效的时长。一般而言,该时长浮动范围较大, h_1 取值一般为 20 min~2 h 不等。

$$\varepsilon_1 = \int_0^T p_1 h_1 dt = h_1 \int_0^T p_s dt = h_1 N(p_s) \quad (3)$$

其中, ε_1 的物理意义是表示 $[0, T]$ 时间段内,系统因单个应用服务故障导致的平均不可用时长。

$N(p_s) = \int_0^T p_s dt$, 其物理意义为 $[0, T]$ 时间段内,系统因单个应用服务故障的平均次数。虽然无法得到 $N(p_s)$ 确切的数学表达式,但可通过统计历史故障得出 $N(p_s)$ 的统计经验值。

基于云平台架构的系统,应主备服务实时热备运行,单个应用服务故障不会导致对外服务中断,因此 $h_1 = 0$, 相应的 $\varepsilon_1 = 0$ 。

4.2 双机故障后系统可靠性模型分析

传统架构的系统,某一应用程序的主备服务器均故障的情况下,需要在第三台小型机物理服务器上安装应用程序,并在修改边界防火墙的业务地址映射后,方可恢复系统对外服务,用 h_2 表示主备双机故障后,恢复系统所需时长,同样包括主备服务中断故障发现所需时长、管理员前往中心机房的时长、新服务器安装应用程序和测试时长以及修改防火墙配置并生效的时长,一般而言,该情况系统恢复耗时较长,一般 h_2 取 8~16 h。

基于云平台架构的系统,某一应用程序的主备服务器均故障的情况下,相应应用服务也中断。此时可以通过云平台手工操作克隆出一台新的虚拟主机,其运行的应用程序及参数配置与故障系统完全一致,可迅速投入使用,快速恢复系统。

该过程耗时一般包括管理员收到平台告警之后前往中心机房的时长、克隆主机并投入使用的时长。一般而言,该时长浮动范围较大, h_2 取值一般为 20 min~2 h。

用 p_2 表示某一应用程序的主备服务均发生故障的概率,则有:

$$p_2 = (p_1)^2 = p_s^2 \quad (4)$$

定义:

$$\varepsilon_2 = \int_0^T p_2 h_2 dt = \int_0^T p_s^2 h_2 dt = h_2 \int_0^T p_s^2 dt \quad (5)$$

其中, ε_2 的物理意义是表示 $[0, T]$ 时间段内, 系统因主备应用服务故障导致的平均不可用时长。

虽然无法得到 p_s 确切的数学表达式, 但可通过统计历史故障得出 $N(p_s)$ 的统计经验值, 一般认为, 应用程序的故障概率与程序的质量有关, 与时间 t 无关, 因此 p_s 从统计角度看, 是一个与时间无关的常数, 其统计值可按照式(6)得到:

$$p_s = \frac{N(p_s)}{T} \quad (6)$$

把式(6)代入式(5)中, 得到:

$$\varepsilon_2 = h_2 \int_0^T \frac{N^2(p_s)}{T^2} dt = h_2 N^2(p_s) \int_0^T \frac{1}{T^2} dt = h_2 \frac{N^2(p_s)}{T} \quad (7)$$

4.3 仿真结果

从系统安全可靠运行的角度, ε_1 和 ε_2 越小越好, 最好为 0。根据式(3)和式(7), 对传统架构和云平台架构的电力通信网运行技术支持系统的可靠性参数 (ε_1 和 ε_2) 进行仿真。仿真所用参数见表 1。

系统因单点故障导致不可用时长 (ε_1)、因两点故障导致不可用时长 (ε_2) 与应用程序年平均故障次数 $N(p_s)$ 之间的关系仿真结果分别如图 4、图 5 所示。图 4 结果表明, 基于云平台的系统架构, 任何单点故障不会导致系统对外服务故障。传统架构的系统因单点故障导致不可用时长 (ε_1)

表 1 仿真参数取值

参数	取值	取值说明
T	8 760 h	相当于 1 年
h_1 (传统架构)	1 h	h_1 取值一般为 20 min~2 h 不等, 仿真取中位数
h_1 (云架构)	0	云架构主备服务实时热备用, 单一服务故障系统自动切换
h_2 (传统架构)	12 h	h_2 取值一般为 8~16 h 不等, 仿真取中位数
h_2 (云架构)	1 h	h_2 取值一般为 20 min~2 h 不等, 仿真取中位数

随应用程序年平均故障次数 $N(p_s)$ 线性增长。图 5 结果表明, 应用程序年平均故障次数 $N(p_s)$ 相同的情况下, 基于云平台架构的系统对外服务平均中断时长比传统架构的系统低一个数量级。综上所述, 本文提出的基于云平台的系统架构在系统高可用性方面具有明显的优势。

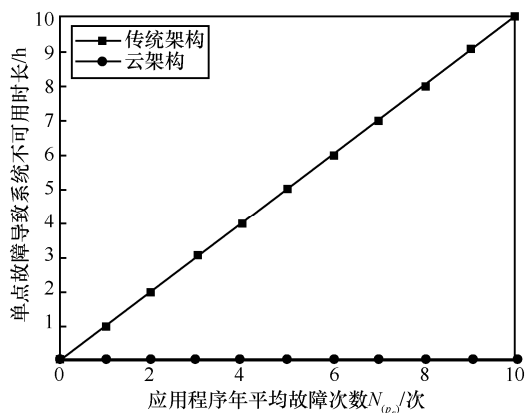


图 4 系统因单点故障导致不可用时长仿真结果

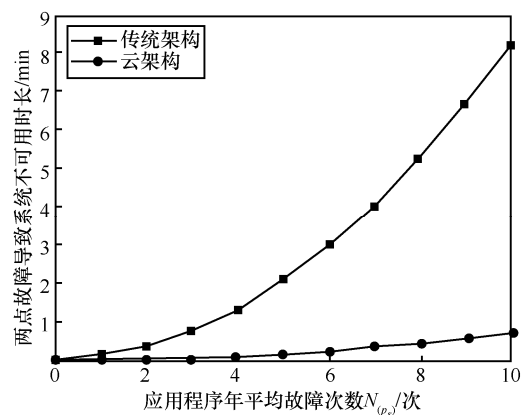


图 5 系统因两点故障导致不可用时长仿真结果



5 结束语

本文提出了一种基于云平台的电力通信网运行技术支持系统高可用架构,支持从传统小型机架构的系统平滑演进,无需对应用程序进行重大调整,同时最大程度发挥存量 ICT 资产的价值,提高存量资产利用效率。为评估系统架构的可靠性,提出了系统高可用性的分析模型,针对基于云平台的系统架构和传统基于小型机物理服务器的系统架构,就单点故障和两点故障导致系统对外服务平均中断时长进行了分析,并完成仿真对比。仿真结果表明,基于云平台的电力通信网运行技术支持系统架构,任一单点故障不会导致系统对外服务中断,两点故障情况下,系统对外服务的平均中断时长比传统基于小型机物理服务器的系统架构低一个数量级。

基于云平台的电力通信网运行支持系统运行在本单位实践验证运行稳定,系统可靠性明显提升,系统响应速度改善明显。极大提升了通信网运行技术支持系统的运行可靠性,为通信网安全可靠运行提供了更加安全可靠先进的技术支撑。

参考文献:

- [1] 汤涌. 电力系统安全稳定综合防御体系框架[J]. 电网技术, 2012, 36(8): 1-5.
TANG Y. Framework of integrated defense system for power system security and stability[J]. Power System Technology, 2012, 36(8): 1-5.
- [2] 焦群, 蔡斌. 电力通信综合网管系统发展建议[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(23): 54-57.
JIAO Q, CAI B. Suggestions for developing the integrated telecommunication network management system for electric power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(23): 54-57.
- [3] 杨志敏. 电力通信网运行综合监视及关键技术[J]. 信息通信, 2013(10): 192-194.
YANG Z M. Integrated operation monitoring of power communication networks and its key technologies[J]. Information & Communications, 2013(10): 192-194.
- [4] 罗军舟, 金嘉晖, 宋爱波, 等. 云计算: 体系架构与关键技术[J]. 通信学报, 2011, 32(7): 3-21.
LUO J Z, JIN J H, SONG A B, et al. Cloud computing: architecture and key technologies[J]. Journal on Communications, 2011, 32(7): 3-21.
- [5] 张建勋, 古志民, 郑超. 云计算研究进展综述[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(2): 429-433.
ZHANG J X, GU Z M, ZHENG C. Survey of research progress on cloud computing[J]. Application Research of Computers, 2010, 27(2): 429-433.
- [6] 赵俊华, 文福拴, 薛禹胜, 等. 云计算: 构建未来电力系统的核心计算平台[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(15): 1-8.
ZHAO J H, WEN F Q, XUE Y S, et al. Cloud computing: implementing an essential computing platform for future power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(15): 1-8.
- [7] SINGH B, DHAWAN S, ARORA A, et al. A view of cloud computing[J]. International Journal of Computers & Technology, 2013, 4(2b1): 50-58.
- [8] 陈康, 郑纬民. 云计算: 系统实例与研究现状[J]. 软件学报, 2009, 20(5): 1337-1348.
CHEN K, ZHENG W M. Cloud computing: system instances and current research[J]. Journal of Software, 2011, 32(7): 3-21.
- [9] 武志学. 云计算虚拟化技术的发展与趋势[J]. 计算机应用, 2017, 37(4): 915-923.
WU Z X. Advances on virtualization technology of cloud computing[J]. Journal of Computer Applications, 2017, 37(4): 915-923.
- [10] 武峥. 云计算技术在教育资源公共服务平台的应用研究[J]. 中国电化教育, 2018(2): 107-111.
WU Z. Research on the application of cloud computing in digital teaching[J]. China Educational Technology, 2018(2): 107-111.
- [11] 张青. 云计算在港口运输船舶信息平台开发的应用[J]. 舰船科学技术, 2018, 40(1A): 150-152.
ZHANG Q. Application of cloud computing in the development of port transport vessel information platform[J]. Ship Science and Technology, 2018, 40(1A): 150-152.
- [12] 孟倩, 马建峰, 陈克非, 等. 基于云计算平台的物联网加密数据比较方案[J]. 通信学报, 2018, 39(4): 167-175.
MENG Q, MA J F, CHEN K F, et al. Data comparable encryption scheme based on cloud computing in Internet of things[J]. Journal on Communications, 2018, 39(4): 167-175.
- [13] 李如初, 沈名龙, 彭海荣. 大数据、云计算在电力工业中的应用[J]. 电信科学, 2018, 34(4): 151-155.
LI R C, SHEN M L, PENG H T. Application of big data and

cloud computing in power industry[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(4): 151-155.

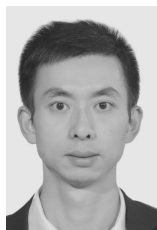
- [14] 王桂凤, 耿向华. 云技术在电网资源调度系统中的应用研究[J]. 电源技术, 2017(11): 146-147.

WANG G F, GENG X H. Application of cloud technology in power grid resource dispatching system[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2017(11): 146-147.

- [15] 宋阿芳, 林联, 王发光. 通信网管系统云化部署及迁移问题研究[J]. 电信科学, 2015, 31(6): 103-108.

SONG A F, LIN L, WANG F G. Research on migration or deployment of telecom network management system on cloud computing network[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(6): 103-108.

[作者简介]



杨志敏(1982-), 男, 博士, 中国南方电网电力调度控制中心高级工程师, 主要从事电力通信运行及技术支持系统研究工作。



洪丹轲(1973-), 男, 中国南方电网电力调度控制中心高级工程师, 主要从事电力通信管理工作。



王力(1986-), 男, 中国南方电网电力调度控制中心工程师, 主要从事电力通信运行工作。



谢俊毅(1992-), 男, 中国南方电网电力调度控制中心助理工程师, 主要从事电力通信运行工作。