



数据库云化部署技术研究

蔡永顺,杨明川,司 伟,饶少阳

(中国电信股份有限公司北京研究院 北京 100035)

摘 要:云计算虚拟化技术具备弹性可扩展、自动迁移(高可用)、自动恢复(高可靠)等特征,然而数据库系统自身技术的复杂性对在云计算环境中部署工作提出了调整。在研究与分析私有云计算环境中数据库系统部署模式的基础上,在实际应用系统环境中重点验证了不同数据库系统采用单虚拟机部署模式时事务性能基准测试中的性能表现,通过与数据库在物理服务器部署方式下的性能对比,验证了数据库系统云化部署的可行性。

关键词:云计算;虚拟机;数据库;性能

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015173

Research on Database Deployment Technology in Cloud Computing Environment

Cai Yongshun, Yang Mingchuan, Si Wei, Rao Shaoyang

(Beijing Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 100035, China)

Abstract: Cloud computing virtualization technology has the characteristics of elastic scalability, automatic migration (high availability), automatic recovery (high stability). Because of the natural complexity of database systems, it makes a big challenge to deploy database systems in cloud computing virtualization environment. On the basis of research and analyzing models of deploying database systems in private cloud environment, the TPC-C benchmark test with database instances running in cloud computing virtual machines was applied. Compared with performance results of same test with database instances running in physical machines, the feasibility of deploying database systems in cloud computing virtualization environment was verified.

Key words: cloud computing, virtual machine, database, performance

1 引言

数据库是信息化(IT)系统、通信(CT)系统、互联网(Internet)应用不可或缺的重要组成部分,由于数据库提供数据存储和管理功能,这些数据由应用系统的功能提供、用户安全、平台运营等活动产生和使用,因此需要保证数

据库系统的安全、可靠以及性能,同时由于目前各类系统使用的数据库情况较为复杂,使得不同厂商、不同版本、不同接口、不同架构的数据库系统对硬件环境有千差万别的要求。随着云计算技术的兴起和成熟,越来越多的应用系统整体向云计算环境迁移,如大型银行、电信运营商、政府机构等,纷纷将原有烟囱式的系统建设模式向以资源池

收稿日期:2015-04-07;修回日期:2015-07-10

论文引用格式:蔡永顺,杨明川,司伟等.数据库云化部署技术研究.电信科学,2015173

Cai Y S, Yang M C, Si W, et al. Research on database deployment technology in cloud computing environment. Telecommunications Science, 2015173

化、应用平台动态灵活部署的云计算模式转型,而数据库系统对在云计算环境中部署工作提出了严峻的挑战。

目前在数据库系统云化部署方面主要有以下研究。

- 参考文献[1]提出了基于云计算池化资源池部署多种数据库实例时,根据预估数据库负载情况为承载数据库系统的虚拟机自动生成优化配置,并成功承载 IBM DB2 和 PostgreSQL 的数据库实例。
- 参考文献[2]提出了一种新的关系型数据库即服务实现方法,重点解决有效多租户、弹性可扩展、数据库隐私保护问题。
- 参考文献[3]分析了云计算时代关系型数据库存在的弊端,介绍了 NoSQL 数据库的特征和常用数据模型。

2 数据化系统云化部署模式

2.1 数据库单虚拟机部署模式

虚拟化环境下数据库单机部署模式如图 1 所示。数据库单虚拟机部署模式下,数据库系统由单台虚拟机承载,根据业务应用系统需求可以为承载数据库的虚拟机实例分配匹配业务负载需求的虚拟 CPU 资源(如 2~8 颗 vCPU)以及内存资源(如 8~32 GB)。承载数据库实例的虚拟机可以与承载业务系统的虚拟机实例部署在相同的物

理服务器上或承载在不同的物理服务器上,业务系统实例通过隔离的二层或者三层网络(段)(如独立的 VLAN)访问数据库实例并获取数据库服务。

对于数据库单机部署模式,需要为数据库分配独立于虚拟机操作系统磁盘的存储空间,从而方便操作系统和数据库分别进行备份,虚拟化环境下数据库存储空间有两种分配方式:一种是在虚拟化磁盘文件空间上创建数据库部署存储空间,可以实现虚拟磁盘快速、灵活的扩展,目前支持的虚拟化技术有 VMware、Hyper-V;另一种是为数据库分配物理共享存储空间,可以是裸磁盘形式提供,也可以是逻辑卷形式提供,目前支持的虚拟化技术典型代表有 XenServer、KVM。如果采用为虚拟机分配物理共享存储空间的方式,建议虚拟机通过直接资源访问关系型数据库服务(relational database service, RDS)的方式连接共享存储(如 FC、FCoE、iSCSI 等协议)。

采用虚拟化环境下数据库单机部署模式,如果承载数据库的虚拟机出现宕机、服务中断现象,可以通过虚拟化高可用(high availability, HA)或者虚拟化容错(fault tolerance, FT)的方式为数据库虚拟机提供可用性保障,采用虚拟化 HA 模式部署的数据库虚拟机故障恢复时间为 3~6 min,采用虚拟化 FT 可靠性保障技术,数据库虚拟机出现故障时可以瞬时切换到镜像虚拟机,因此虚拟化 FT

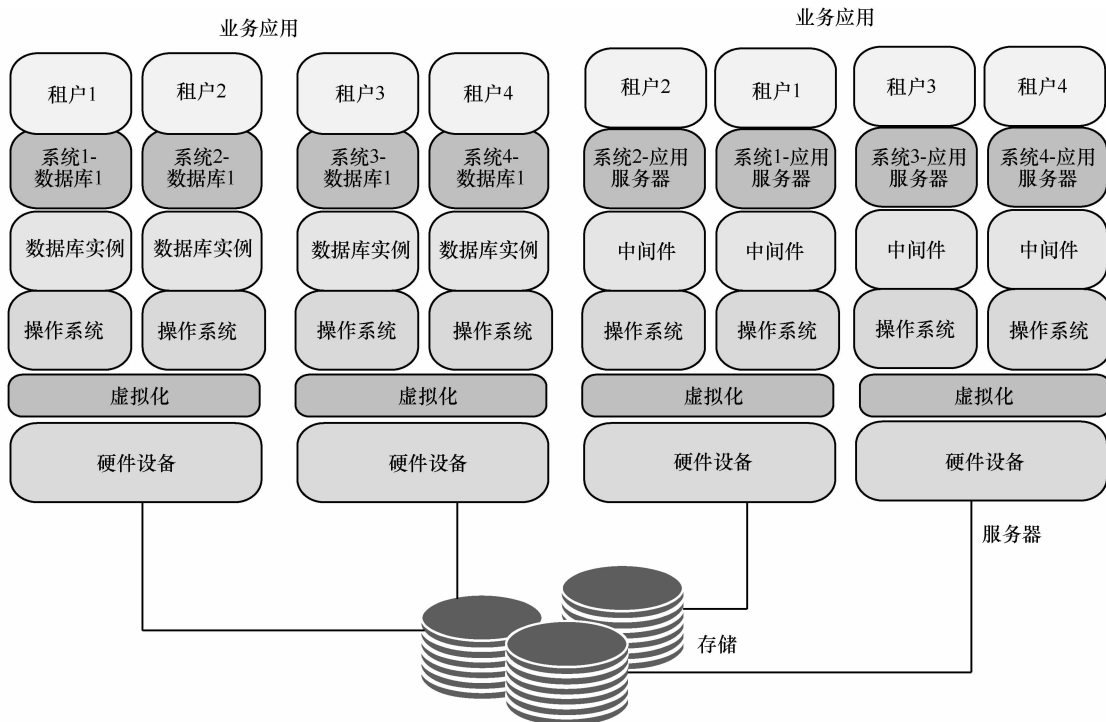


图 1 虚拟化环境下数据库单机部署模式示意



方式可以为应用和数据库系统提供较高的连续性保障。目前业界主流的虚拟化软件产品均支持数据库单机部署模式并提供高可用性保障,只有少量领先的虚拟化软件支持虚拟化容错保障机制。

数据库单虚拟机部署模式适应的应用场景有:中小型电信级与企业级应用、小型移动互联网应用等。

2.2 数据库双虚拟机 HA 部署模式

虚拟化环境下数据库 HA 双机部署模式如图 2 所示。双虚拟机 HA 部署模式下,数据库集群系统由两台相同规格配置的虚拟机承载,根据业务系统需求可以为承载数据库系统的虚拟机实例分配所需的 CPU 资源以及内存资源。承载数据库实例的虚拟机可以与承载业务系统的虚拟机实例部署在相同的物理服务器上,但是承载数据库实例的两台虚拟机需要部署在两台不同的物理服务器上,从而保证当一台物理服务器出现问题时,另外一台物理服务器运行的数据库实例虚拟机不受影响。在网络连接方面,要求业务系统尽量通过隔离的二层或者三层网络(段)(如独立的 VLAN)访问承载数据库的虚拟机实例并获取数据库服务。

对于数据库双虚拟机 HA 部署,在数据库存储空间分配方面,需要为数据库实例分配多个独立的裸磁盘存储空间,不论采用哪种存储空间分配方式,都要求两个数据库

实例能够共享访问多个相同的存储资源(物理磁盘、虚拟磁盘)。如果采用共享存储空间方案,建议两台虚拟机尽量以共享虚拟磁盘的方式连接共享存储资源。

采用数据库双虚拟机 HA 部署模式,如果承载数据库的一台虚拟机出现宕机、服务中断现象,可以通过操作系统 HA 双机集群或者第三方 HA 双机软件感知数据库服务中断,将双机集群中的备用节点切换为主节点,从而保障数据库系统的可用性,数据库双虚拟机 HA 部署模式的数据库系统故障恢复时间为 1~2 min。目前业界领先的虚拟化软件产品,如 VMware ESXi 等均支持数据库 HA 双机部署模式。数据库 HA 双机部署模式的应用场景有:重要但非核心的业务平台、行业应用平台、网管平台等。

2.3 数据库多虚拟机网络集群部署模式

虚拟化环境下网络集群部署模式如图 3 所示。由于虚拟机(虚拟服务器)本身功能和性能的限制,基于磁盘共享架构数据库网络集群(如 Oracle RAC)要求采用承载数据库实例的多台虚拟化服务器能够同时并发访问多个相同的裸磁盘存储资源(物理磁盘、虚拟磁盘),而 shared-nothing(无共享)架构数据库集群(如 MySQL 集群)则没有非常严格的共享访问裸存储资源的需求。与单数据库实例部署模式相同,每个数据库实例由单台虚拟机承载,根据业务系统数据处理需求可以为承载数据库的虚拟机实例

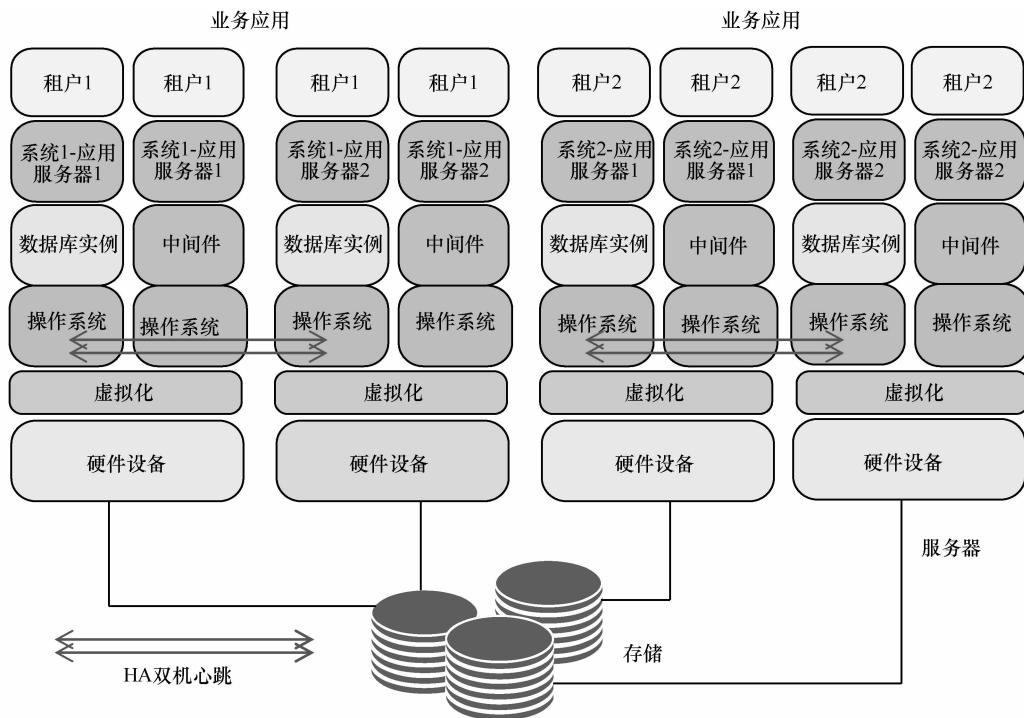


图 2 虚拟化环境下数据库 HA 双机部署模式示意

分配所需的 CPU 资源(如 2~8 颗 vCPU)以及内存资源。承载数据库集群实例的虚拟机尽量采用多台专用的物理服务器集中部署数据库实例虚拟机,同时要求业务系统与承载数据库集群的虚拟机实例必须处于同一二层网络(段)内,以保证应用系统和数据库系统受网络时延、分组丢失等影响极低。

对于数据库多虚拟机网格集群部署模式,各数据库实例需要同时访问多个虚拟或者物理存储资源(卷)。为虚拟机分配共享存储空间时,如果虚拟化软件支持多个虚拟机共享读写虚拟存储磁盘(以磁盘文件形式保存在物理磁盘),则优先采用共享虚拟磁盘文件的方式为数据库集群分配存储资源(如 VMware、Hyper-V),否则可采用裸设备映射的方式连接共享存储。

采用虚拟化环境数据库网格集群部署模式,由于数据库网格集群中的多个数据库实例之间采用负载分担工作模式,如果承载数据库实例的一台虚拟机出现宕机、服务中断现象,数据库网格集群可将负载请求由故障虚拟机瞬间切换到可用虚拟机,从而为数据库服务提供实时可用性保障。目前业界领先的虚拟化软件产品,包括 VMware ESXi、微软 Hyper-V 等均支持数据库网格集群部署模式。

虚拟化环境数据库网格部署模式的应用场景有:企业核心 IT 系统(如财务、人力资源)、电信核心系统(如计费、CRM、短/彩信、WAP 等)、大型企业应用(如 ERP)等。

2.4 NoSQL 数据库集群部署模式

第 2.1~2.3 节的 3 种数据库云化部署模式都是针对适用于绝大多数应用场景的关系型数据库,关系型数据库的性能非常高,但其毕竟是通用型数据库,并不能完全适应所有的用途。具体来说,关系型数据不适合以下任务处理^[4]:

- 大量数据的写入处理;
- 为有数据更新的表做索引或表结构(schema)变更;
- 字段不固定时应用;
- 对简单查询需要快速返回结果的处理。

近些年随着互联网 Web2.0 技术的发展,为了解决关系型数据库无法解决大规模并发读写、查询的问题, NoSQL 数据库出现了, NoSQL 并不是“No SQL”,而是“not only SQL”,意思是适用关系型数据库的时候就使用关系型数据库,不适用时也没有必要非使用关系型数据库不可,可以考虑使用更加合适的数据库存储。

NoSQL 数据库通常在大型互联网系统中被广泛应用,是为了使大量数据的写入处理更加容易(增加服务器数量相对更容易)而设计的,因此 NoSQL 数据库不支持数据复杂处理,如 join 等操作。NoSQL 数据库原本就不支持 join 处理,各个数据都是独立设计的,很容易把数据分散到多个服务器上。由于数据被分散到了多个服务器上,减少了每个服务器上的数据量,即使要进行大量数据的写入操作,处理起来也更加容易。同理,数据的读入操作也同样容易。

NoSQL 数据库存在多种类型,常见的有:“key-value

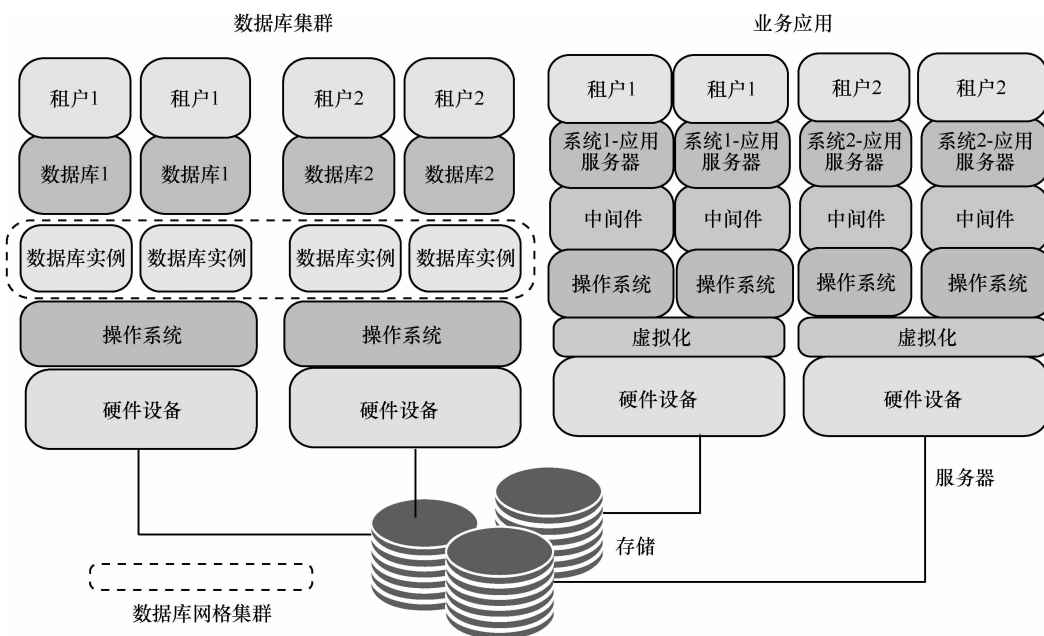


图 3 虚拟化环境下数据库网格集群部署模式示意



存储数据库”、“文档型数据库”、“列式存储数据库”、“图数据库”等,每种 NoSQL 数据库各自特征不同,具体介绍如下。

- key-value 数据库以 key(键)-value(数值)形式存储数据,key 通常以索引形式存储在数据库当中,可以快速定位 key 所对应的数据值保存的存储空间,常见的 key-value 数据库有:Memcached、Redis、Flare 等。
- 文档型数据库主要设计用来存储、获取以及管理基于文档的或者叫半结构化的数据,数据存储的最小单位是文档,同一个表中存储的文档属性可以是不同的,数据可以使用 JSON、XML 等多种格式存储,常见的文档型数据库有:MongoDB、CouchDB 等。
- 列式存储数据库是以数据库表结构中的列为单元进行数据存储的数据库,相对于关系型数据库更适合以行为单位进行处理,列式数据库更适合以列为单位进行处理,主要适合于批量数据处理和即席查询,常见的列式存储数据库有:Cassandra、HBase、HyperTable 等。
- 图数据库是使用图结构并支持对节点、关系、属性来表征和存储的数据进行相关语义查询的数据库。图数据库中的每个元素都至少包含一个指向临近元素的指针,因此图数据库不需要索引,常用于复杂关系建模,支持复杂关系的快速查询,常见的图数据库有:Neo4j、GraphDB 等。

NoSQL 数据库集群部署模式如图 4 所示。对于 NoSQL 数据库的部署模式,以 MongoDB 为例,数据库实例(Mongo master 和 Mongo slave)可以部署到物理服务器中,也可以部署到虚拟机中,如部署到虚拟机中,则可以根据业务需要为虚拟机分配合适的 CPU 和内存等资源,各数据库实例间不需要共享存储资源,由 MongoDB 主节点监控各从节点的运行状态,客户端请求读写操作时,由主节点调度合适的从节点,以响应客户端请求。

3 数据库云化部署效果

为了验证数据库系统云化部署的实际效果,在中国电信实际机房环境中,采用相同资源配置的物理服务器和 VMware EXSi 虚拟化软件(ESXi 5.0 u1)创建的虚拟机分别部署相同版本的 Oracle 数据库(Oracle 11g R2 企业版),SQL Server 数据库(SQL Server 2012 企业版)和 Sybase 数据库(Sybase ASE 15.7 企业版),采用 Quest 公司提供的 Benchmark Factory 4.0 免费版作为测试工具,对以上 3 种数据库在物理服务器环境下和虚拟机环境进行 TPC-C 在线交易性能基准测试,在不同并发用户数量(5~100 个)的条件下,Oracle、SQL Server 和 Sybase 数据库每秒事务处理(transaction per second,TPS)的性能对比如图5~图 7 所示。

对 Oracle、SQL Server、Sybase 3 种数据库在不同承载环境下 TPC-C 基准性能测试结果进行统计,结果表明在

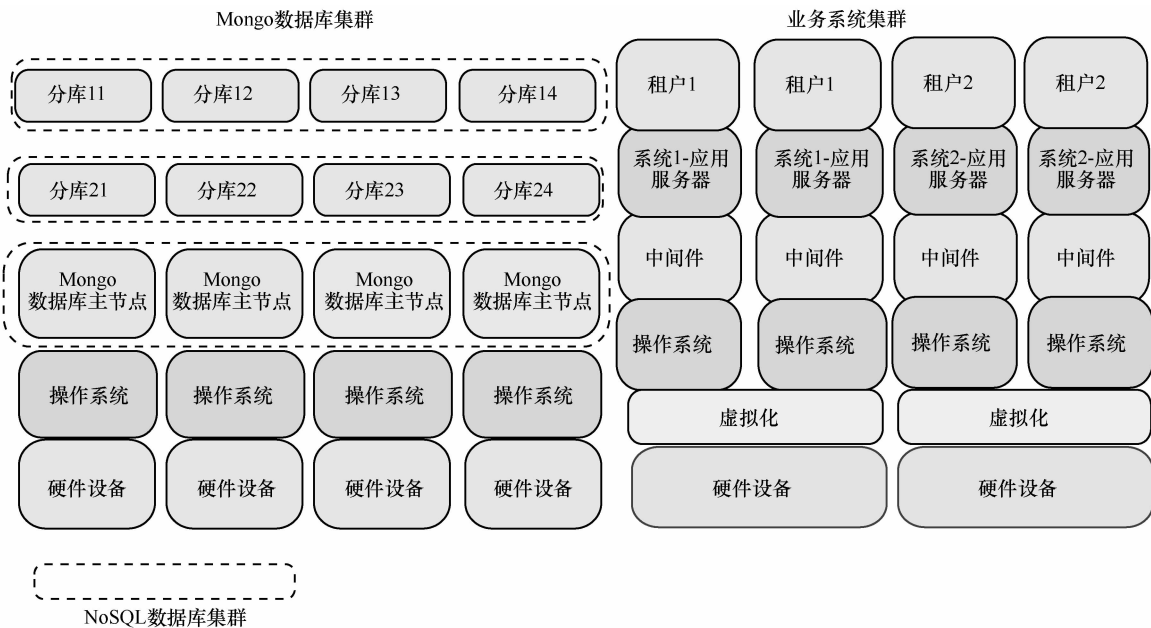


图 4 NoSQL 数据库集群部署模式示意

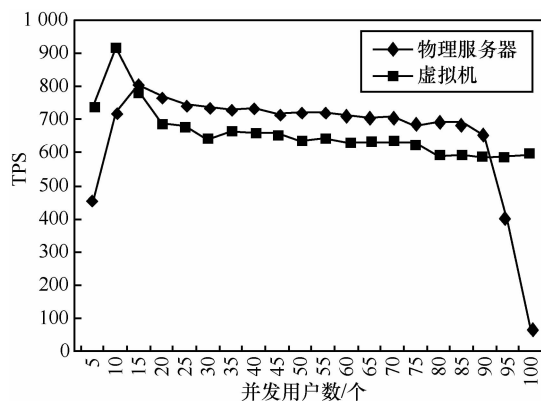


图 5 Oracle 数据库单机部署 TPS 性能对比

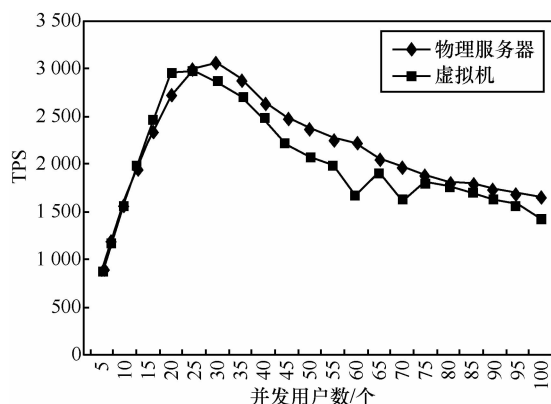


图 6 SQL Server 数据库单机部署 TPS 性能对比

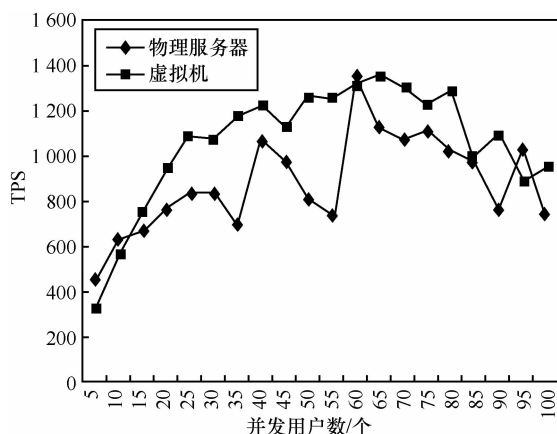


图 7 Sybase 数据库单机部署 TPS 性能对比

VMware ESXi(5.0 u1)虚拟化环境下,数据库系统在虚拟机环境中较相同资源配置的物理服务器环境性能损失约 5%,换言之,在基于 ESXi(5.0 u1)创建的虚拟机中部署单机版数据库系统 TPS 约为相同配置物理服务器的 95.83%,同时从图 5~图 7 中可以看出,对于物理服务器承载数据库系统,随着用户并发数量的增加,数据库 TPS 波动较大,而对于虚拟机承载数据库系统,随着用户并发数

量的增加,数据库 TPS 波动较小,数据库系统由虚拟机承载时 TPS 波动较小的原因主要是引入了虚拟化软件(Hyper-V),由虚拟化软件为虚拟机所占用的虚拟 CPU 和虚拟网卡提供性能和 QoS 保障,而物理服务器环境中存在 CPU 和网络资源被多个进程相互竞争现象,从而导致数据库系统运行有较大的波动变化。

4 结束语

本文在总结现有数据库云化部署技术的基础上,提出了 4 种数据库云化部署模式,详细阐述了每种数据库云化部署模式的硬件需求、架构特征、技术限制,并结合每种部署模式的优势与不足给出了所适合的应用场景。同时以数据库单虚拟机部署模式在 VMware 虚拟机中部署 Oracle、SQL Server、Sybase 数据库,通过运行 TPC-C 性能基准测试,对比了数据库云化部署模式与传统的物理服务器部署模式的性能差异,测试结果表明,在云计算虚拟化环境下,部署数据库系统对数据库的 TPS 影响较小,同时云计算虚拟化环境本身可以提高数据库系统的可靠性和稳定性。

数据库系统云化是信息化应用向云计算环境迁移时必不可少的必要环境,传统的信息化应用大部分基于关系型数据库构建,未来更多的 IT 系统、业务系统、互联网应用将基于云计算原生环境构建,如何在云计算环境中提供灵活扩展、自动优化配置、兼容传统接口、支持多种数据模式的数据库服务是下一步数据库云化技术研究的重点。

参考文献

- 1 Soror A A, Minhas U F, Abounaga A, *et al.* Automatic virtual machine configuration for database workloads. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, 2010, 35(1): 177~185
- 2 Link C, Curino C, Jones E P C, *et al.* Relational cloud: a database-as-a-service for the cloud. *Proceedings of 5th Biennial Conference on Innovative Data Systems Research, Asilomar, California, USA*, 2011
- 3 程莹, 张云勇, 房秉毅等. 云计算时代的数据库研究. *电信技术*, 2011(1): 27~28
Cheng Y, Zhang Y Y, Fang B Y, *et al.* Research on database in cloud computing. *Telecommunications Technology*, 2011(1): 27~28
- 4 Sasaki T. NoSQL 数据库入门. 罗永译. 北京: 人民邮电出版社, 2012
Sasaki T. *Introduction to NoSQL Database*. Translated by Luo Y. Beijing: Posts and Telecom Press, 2012

(2015173-7 接排在 2015187-9 后)



- 6 彭华东. 某地移动骚扰电话整治总结. 电脑知识与技术, 2014(15): 3647~3661
Peng H D. Summary of mobile phone and harassing phone calls in a certain place. Computer Knowledge and Technology, 2014(15): 3647~3661
- 7 李立卡, 马泽雄, 陈庆年等. 电话诈骗防治技术解决方案与运维对策研究. 电信科学, 2014, 30(11): 166~172
Li L K, Ma Z X, Chen Q N, *et al.* Research of technology solutions and operation countermeasures to telephone fraud prevention and control. Telecommunications Science, 2014, 30(11): 166~172
- 8 刘碧波. 电信网内恶意呼叫的识别方法. 电信技术, 2014(10): 67~68
Liu B B. Identification method of malicious call in telecommunication network. Telecommunications Technology, 2014(10): 67~68
- 9 黄勇军, 冯明, 丁圣勇等. 电信运营商大数据发展策略探讨. 电信科学, 2013, 29(3): 7~11
Huang Y J, Feng M, Ding S Y, *et al.* Discussion on the development strategy of telecom operators. Telecommunications Science, 2013, 29(3): 7~11
- 10 杜海涛, 张峰, 高曼颖等. 基于语音识别的骚扰电话呼叫检测技术分析. 电信工程技术与标准化, 2014(12): 5~9
Du H T, Zhang F, Gao M Y, *et al.* Analysis and experiment of disturbing call detection technology based on speech recognition. Telecommunications Engineering Technics and Standardization, 2014(12): 5~9

- 11 胡舜耕, 魏进武. 大数据及其在电信运营中的应用研究. 电信技术, 2015(1): 14~17
Hu S G, Wei J W. Research on large data and its application in telecom operation. Telecommunications Technology, 2015(1): 14~17

[作者简介]



朱宏毅,男,中国移动通信集团浙江有限公司网络管理中心高级工程师,主要从事交换网络维护管理工作。

林建洪,男,东信北邮信息技术有限公司工程中心技术专家,主要从事项目管理和新产品研究工作。

王彦青,男,东信北邮信息技术有限公司数据业务产品中心数据分析师,主要从事算法研究工作。

张锦然,女,东信北邮信息技术有限公司电信业务产品中心高级工程师,主要从事新产品研究工作。

王敬宇,男,东信北邮信息技术有限公司战略研究部技术专家,主要从事网络和大数据技术研究工作。

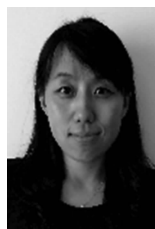
2015187-9

(上接 2015173-6)

[作者简介]



蔡永顺,男,中国电信股份有限公司北京研究院工程师,主要研究方向为服务器虚拟化、云资源管理与监控、定制化服务器等。



司伟,女,中国电信股份有限公司北京研究院高级工程师,主要从事虚拟化安全、云计算系统架构、大数据等工作。



杨明川,男,中国电信股份有限公司北京研究院云计算与大数据产品线总监,主要研究方向为大数据平台与业务关键技术。



饶少阳,男,中国电信股份有限公司北京研究院高级工程师,主要从事云计算技术与产品研发工作。

2015173-7