

云计算研究现状综述

李乔 郑啸

(安徽工业大学计算机学院 马鞍山 243002)

摘要 云计算能够给用户提供了可靠的、自定义的、最大化资源利用的服务,是一种崭新的分布式计算模式。同时,云计算和其他技术及理论的有机结合,也是解决理论研究和实际应用的重要途径。阐述了云计算的基本概念,论述了云计算的优势和存在的问题,比较了云计算不同于以往技术的新特点,剖析了云计算的框架,介绍了不同的云计算服务,并从云计算服务类型和框架层次的角度进行了综述,分析了二者之间的对应关系,概括了围绕云计算框架和不同服务所展开的相关研究工作。结合已有的云计算研究成果,展望了未来的研究方向和亟待解决的关键问题。

关键词 云计算,测试,Web 服务,网格,仿真

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Research Survey of Cloud Computing

LI Qiao ZHENG Xiao

(School of Computer Science, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

Abstract Cloud Computing is a new application model for decentralized computing which can provide reliable, customized and maximum number of users with minimum resource, and it is also a important way to carry out Cloud Computing theory research and practical application combining with other theory and good techniques. This paper summarized cloud computing concept, discussed cloud computing advantage and problem, compared different technology and got characteristic of cloud computing, analyzed the architecture of cloud computing, introduced different cloud computing service, presented a survey on service and architecture aspects of cloud computing, analyzed the relationship between service and architecture, summarized related research about relationship of service and architecture of cloud computing. This paper also presented a summary of the current art of the state of cloud computing, a discussion on the future researches topics and some crucial problems which should be solved pressingly.

Keywords Cloud computing, Testing, Web service, Grid, Simulation

1 引言

随着信息和通信技术的快速发展,如图1所示,计算模式经历了从最初把任务集中交付给大型处理机模式(图1(a)),到后来发展为基于网络的分布式任务处理模式(图2(b)),再到最近的按需处理的云计算^[1]模式(图1(c))。最初的单个处理机模式处理能力有限,并且请求需要等待,效率低下。后来,随着网络技术的不断发展,按照高负载配置的服务器集群,在遇到低负载的时候,会有资源的浪费和闲置,导致用户的运行维护成本提高。而云计算把网络上的服务资源虚拟化,整个服务资源的调度、管理、维护等工作由专门的人员负责,用户不必关心“云”内部的实现,因此云计算实质上是给用户提供了像传统的电力、水、煤气一样的按需计算服务^[2,3],它是一种新的有效的计算使用范式。并且,云计算是分布式计算、效用计算、虚拟化技术、Web 服务、网格计算等技术的融合和发展,其目标是用户通过网络能够在任何时间、任何地点最大限度地使用虚拟资源池,处理大规模计算问题。目前,在

学术界和工业界共同推动之下,云计算及其应用呈现迅速增长的趋势,各大云计算厂商如 Amazon, IBM, Google, Microsoft, Sun 等公司都推出自己研发的云计算服务平台^[4]。而学术界也源于云计算的现实背景纷纷对模型、应用、成本、仿真、性能优化、测试等诸多问题进行了深入研究,提出了各自的理论方法和技术成果,极大地推动了云计算继续向前发展。

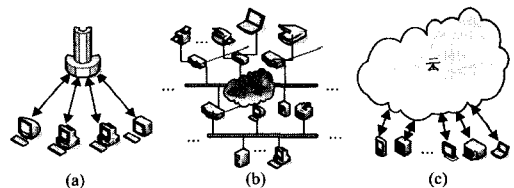


图1 云计算模式的演化

文献[5]从几种典型的云计算实现方案角度,综述了云计算背后所采用的技术;文献[6]提出了云计算服务栈框架,综述归类了不同的云计算服务对应的服务层次;文献[3]从云计

到稿日期:2010-05-06 返修日期:2010-08-02 本文受安徽省高等学校省级优秀青年人才基金项目(2010SQRL040)资助。

李乔(1980-),男,博士生,讲师,主要研究方向为软件测试等,E-mail:qiao@seu.edu.cn;郑啸(1975-),男,博士生,副教授,主要研究方向为服务计算。

算定义描述的视角,分析了云计算的特点。但上述综述文献没有说明云计算服务类型和框架层次的对应关系,以及最新的研究工作是在何种服务类型和框架内进行。本文则是从云计算服务类型和框架的二维角度综合分析了云计算的本质,阐述了源于这些服务类型和框架的相关研究工作。本文第2节针对云计算的概念从不同角度给出多种描述的定义,揭示其本质的特征;第3节比较 Web 服务、网格、云计算 3 个概念,强调云计算不同于以往相近技术的特征;第4节剖析云计算的服务类型和框架;第5节就云计算所涉及的范畴的研究作了分类概括;最后总结全文,指出未来研究方向并展望后续工作。

2 云计算的定义和特点

目前,不同文献和资料对云计算的定义有不同的表述^[3,18,19],主要有以下几种代表性的定义。

定义 1 云计算^[18]是一种能够在短时间内迅速按需提供服务的服务,可以避免资源过度 and 过低使用。

定义 2 云计算^[19]是一种并行的、分布式的系统,由虚拟化的计算资源构成,能够根据服务提供者和用户事先商定好的服务等级协议动态地提供服务。

定义 3 云计算^[3]是一种可以调用的虚拟化的资源池,这些资源池可以根据负载动态重新配置,以达到最优化使用的目的。用户和服务提供商事先约定服务等级协议,用户以用时付费模式使用服务。

3 个不同文献的定义中,定义 1 强调了按需使用方式,定义 2 中突出了用户和服务提供商双方事先商定的服务等级协议。这两个定义都从一定的角度给出定义。定义 3 综合了前面两种定义的描述,更好地揭示了云计算的特点和本质。通过以上的定义分析,可以得出云计算具有如下一些特点。

(1)服务资源池化:通过虚拟化技术,对存储、计算、内存、网络等资源化,按用户需求动态地分配。

(2)可扩展性:用户随时随地可以根据实际需求,快速弹性地请求和购买服务资源,扩展处理能力。

(3)宽带网络调用:用户使用各种客户端软件,通过网络调用云计算资源。

(4)可度量性:服务资源的使用可以被监控、报告给用户和服务提供商,并可根根据具体使用类型(如带宽、活动用户数、存储等)收取费用。

(5)可靠性:自动检测失效节点,通过数据的冗余能够继续正常工作,提供高质量的服务,达到服务等级协议要求(SLA)。

云计算新的范式的特点带来了众多的优势,同时引入了一些新的问题亟待解决。这些因素制约着云计算技术及其应用的发展,如表 1 所列。

表 1 云计算的优势和对应问题

云计算	优势	问题
安全性	缩短单机密集数据处理任务时间,把处理任务分配到各个节点计算,提高了效率。	用户关注传输到云计算端的敏感处理数据是否安全。
可靠性	减少用户购买物理硬件设备的费用,资源以服务的方式进行租赁,降低用户资金投入的前期风险,促进用户把精力投入业务中。	虽然用户不需要维护软件、硬件,但是用户使用云计算服务的质量依赖云计算本身的质量。

可维护性	提供专业的软件管理和维护服务,减少了普通用户软件平台的日常维护管理成本。	是否所有的软件应用都适合在云计算环境下开发应用,而以往的软件应用如何移植到云计算环境下。
交互性	用户可以根据业务需要动态地按需请求云计算服务,处理高峰期的负载并在非高峰期释放资源。	云计算服务提供商的实际扩展能力有限,需要多个云计算服务商间的交互,而云计算服务之间的交互性较差。

3 Web 服务、网格和云计算

Web 服务、网格和云计算很多地方有相似之处,并且云计算是前两者的演化、发展,因此各个概念间容易混淆。区分相关概念间的差异性,有助于理解和把握云计算的本质。如表 2 所列,本节比较每个概念之间的特征,分析彼此间的相互关联。

(1)异构性:Web 服务仅支持软件层次上异构的服务,用户调用的服务可以是各种语言开发的功能模块,而网格和云计算模型均支持软件和硬件的异构资源聚合调用。

(2)虚拟化:Web 服务没有虚拟化,提供的是系统的功能模块,网格和云计算分别支持虚拟化的技术,并且云计算是对硬件资源、操作平台的虚拟化,而网格只是数据和计算资源的虚拟化。

(3)应用驱动:Web 服务用户通过调用服务提供者暴露给外界的 API,使用该系统需要的某个特定功能。网格计算是利用网络未用计算资源进行科学计算,云计算则提供给了普通用户需要的各种服务,如存储、计算、应用服务等,具有更宽泛的适用性。

(4)可扩展性:Web 服务扩展能力有限,网格服务主要通过增加节点来扩展处理能力。云计算可根据需求,重新动态自动配置资源池,具有较好的扩展性。

(5)标准化:Web 服务和网格技术经过不断的发展和成熟,在用户调用以及内部资源调用接口上,实现了较好的互操作性^[20],而云计算由于本身发展的不完善性,在这方面还存在很多问题有待解决,制约了云计算的应用。

(6)节点操作系统:Web 服务和网格各节点都采用相同的操作系统,而云计算则比较灵活,提供了多种操作系统的虚拟机,为上层的云计算应用服务。

(7)容错性:云计算在实现机制上采取了冗余的数据副本,保证了不必像 Web 服务和网格计算那样数据执行失效后还需重新执行。

表 2 Web 服务、网格、云计算的比较

特征	Web 服务	网格	云计算
异构性	支持软件层次的异构性	支持软件、硬件层次的异构性	支持软件、硬件层次的异构性
虚拟化	无	数据和计算资源虚拟化	硬件、软件资源虚拟化
可扩展性	可变	可变,较好	按需提供
应用驱动	调用其他系统特定的功能模块	有限的科学计算服务	提供普通用户硬件、存储、软件等服务
标准化	比较完善	比较完善	有待解决
节点操作系统	相同的系统	相同的系统	多种操作系统的虚拟机
容错性	重新执行	重新执行	转移到其他节点继续行

4 云计算的类型和框架

云计算的类型从不同的角度有不同的划分,本节从地理位置部署的横向和云计算提供服务从底层到高层的纵向角度分类介绍各种云计算,结合典型的云计算服务平台,在表3中总结比较各自的异同和特征,由此在图2中分析云计算框架的构成,讨论各层次需要构建的机制和实现方案。

表3 代表性的云计算服务及平台比较

属性	Amazon EC2	Hadoop	Google AppEngine	Microsoft Azure	Sales Force.com (CRM)	Google Documents 等
类型	Iaas	Iaas	Paas	Paas	Saas	Saas
服务内容	存储、计算、管理和应用服务	程序运行 API 和开发、部署系统平台	Web API 和命令行工具	Web API 和命令行工具	Web 应用和服务	Web 应用和服务
用户调用方式	可靠的底层 API 和命令行工具	Web API 和命令行工具	Web API 和命令行工具	Web API 和命令行工具	主要以简单的浏览器方式使用	主要以简单的浏览器方式使用
平台	Linux, Windows	Linux, Windows, Net 平台	Linux, Windows, Net 平台	Linux, Windows, Net 平台	Linux, Windows	Linux, Windows
特征	提供用户虚拟化的存储、处理、计算服务等基础设施资源和框架	提供在云环境下的程序应用开发运行平台	提供在云环境下的程序应用开发运行平台	提供在云环境下的程序应用开发运行平台	提供任何时间、地点的应用程序使用	提供任何时间、地点的应用程序使用
部署模式及语言	自定义基于 Linux 的亚马逊虚拟映像 (AMI) 和 Java 语言	Python, Java	Python, Java	.Net 支持的语言	无需部署,可以浏览器方式调用	无需部署,可以浏览器方式调用

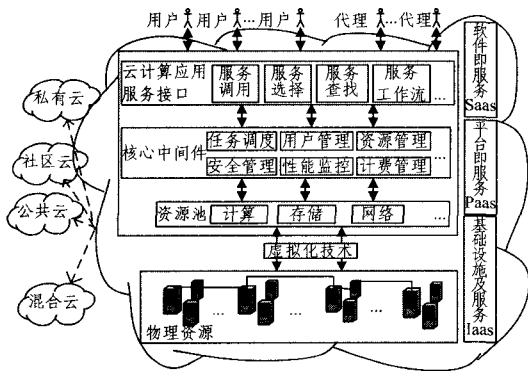


图2 云计算框架图

从云计算部署的角度,云计算分为私有云、社区云、公共云和混合云。私有云被一个组织管理操作。社区云由多个组织共同管理操作,具有一致的任务调度和安全策略。公共云由一个组织管理维护,提供对外的云服务,可以被公众所拥有。混合云是以上两种或两种以上云的组合。从云计算服务的角度,云计算服务类型可以分为基础设施即服务(Iaas)、平台即服务(Paas)、软件即服务(Saas)。

(1)Iaas 在服务层次上是最底层服务,接近物理硬件资源,通过虚拟化的相关技术,为用户提供处理、存储、网络以及其他资源方面的服务,以使用户能够部署操作系统和运行软件。这一层典型的服务如亚马逊的弹性云 (Amazon, EC2)^[7] 和 Apache 的开源项目 Hadoop^[8]。EC2 与 Google 提供的云计算服务不同,Google 只为在互联网上的应用提供云计算平台,开发人员无法在这个平台上工作,因此只能转而通过开源的 Hadoop 软件支持来开发云计算应用。而 EC2 给用户提供一个虚拟的环境,使得可以基于虚拟的操作系统环境运行自身的应用程序。同时,用户可以创建亚马逊机器镜像 (AMI),镜像包括库文件、数据和环境配置,通过弹性计算云的网络界面去操作在云计算平台上运行的各个实例 (Instance),同时用

户需要为相应的简单存储服务 (S3) 和网络流量付费。Hadoop 是一个开源的基于 Java 的分布式存储和计算的项目,其本身实现的是分布式文件系统 (HDFS) 以及计算框架 MapReduce^[9]。此外,Hadoop 包含一系列扩展项目,包括了分布式文件数据库 HBase^[10] (对应 Google 的 BigTable)、分布式协同服务 ZooKeeper^[11] (对应 Google 的 Chubby) 等等。Hadoop 有一个单独的主节点,主要负责 HDFS 的目录管理 (NameNode) 以及作业在各个从节点的调度运行 (JobTracker)。

(2)Paas 是构建在基础设施即服务之上的服务,用户通过云服务提供的软件工具和开发语言,部署自己需要的软件运行环境和配置。用户不必控制底层的网络、存储、操作系统等技术问题,底层服务对用户是透明的,这一层服务是软件的开发和运行环境。这一层服务是一个开发、托管网络应用程序的平台,代表性的有 Google App Engine^[12] 和 Microsoft Azure^[13]。使用 Google App Engine,用户将不再需要维护服务器,用户基于 Google 的基础设施上传、运行应用程序软件。目前,Google App Engine 用户使用一定的资源是免费的,如果使用更多的带宽、存储空间等需要另外收取费用。Google App Engine 提供一套 API 使用 Python 或 Java 来方便用户编写可扩展的应用程序,但仅限 Google App Engine 范围的有限程序,现存很多应用程序还不能很方便地运行在 Google App Engine 上。Microsoft Azure 构建在 Microsoft 数据中心内,允许用户应用程序,同时提供了一套内置的有限 API,方便开发和部署应用程序。此平台包含在线服务 Live Services、关系数据库服务 SQL Services、各式应用程序服务器服务,NET Services 等。

(3)最上一层 Saas,该服务是前两层服务所开发的软件应用,不同用户以简单客户端的方式调用该层服务,例如以浏览器的方式调用服务。用户可以根据自己的实际需求,通过网络向提供商定制所需的应用软件服务,按服务多少和时间长短支付费用。最早提供该服务模式的是 Salesforce 公司运行的客户关系管理系统 (CRM)^[14],它是在该公司 Paas 的 force.com 平台下开发的 Saas,而 Google 的在线办公自软件^[15,16] 如文档、表格、幻灯片处理也是采用 Saas 服务模式。

云计算提供的不同层次服务使开发者、服务提供商、系统管理员和用户面临许多挑战。图2对此做出归纳概述。底层的物理资源经过虚拟化转变为多个虚拟机,以资源池多重租赁的方式提供服务,提高了资源的效用。核心中间件起到任务调度、资源和安全管理、性能监控、计费管理等作用。一方面,云计算服务中涉及到大量的调用第三方软件及框架和重要数据处理的操作,这需要有一套完善的机制,以保证云计算服务安全有效地运行;另一方面,虚拟化的资源池所在的数据中心往往电力资源耗费巨大,解决这样的问题需要设计有效的资源调度策略和算法。在用户通过代理或者直接调用云计算服务的时候,需要和服务提供商之间建立服务协议 (Service Level Agreement, SLA),那么必然需要服务性能监控,以便设计出比较灵活的付费方式。此外,还需要设计便捷的应用接口,方便服务调用。而用户在调用中选择什么样的云计算服务,这就要设计合理的度量标准并建立一个全球云计算服务市场以供选择调用^[17]。

5 相关工作

本节主要阐述云计算最新研究进展,就云计算各个方面

的研究工作分类讨论并分析各个方向研究问题的相互关联,论述相关研究工作是关于哪种云计算服务类型以及涉及到框架中的哪些内容。表4做了分类概括。

表4 云计算相关研究对比

研究方向	研究内容	所属服务类型	涉及的框架部分
性能优化	研究执行过程中各因素的影响,找出优化方案	Iaas	任务调度、资源管理、性能监控
测试	测试云计算底层服务的运行错误并利用云计算服务资源对其他软件进行测试	Iaas, Saas	资源管理性能监控
仿真	云计算执行的仿真、模拟	Iaas	主要框架内容
网络安全	云计算底层的网络架构、协议设计、存取控制等	Iaas, Saas	底层网络、存储、用户管理、安全管理
技术应用	云计算和其他技术的结合	Iaas, Paas, Saas	主要框架内容
成本	云计算服务资源使用计费、度量	Iaas, Paas, Saas	计费管理

(1)性能优化

这个子领域的文献研究重点是优化 Iaas 层次的云计算服务的性能,文献[21]围绕资源、用户数量、服务质量水平(QoS)之间的相互关系展开,建立各个因素之间关系的云计算性能模型,为预测和优化云计算的性能问题提供了依据。文献[22]从效用计算的视角分析不同负载的任务使用,提出了优化云计算性能的方法。文献[23]另辟角度,讨论了云计算节点在异构环境下的 MapReduce 执行性能问题及优化。以上可以看出,这些研究是希望完善云计算底层基础服务设施的性能,从而确保更高层次上云计算应用服务的质量。

(2)测试

云计算测试包括两个层次的含义:第一种层次的含义指可以运用现有的云计算环境提供的服务资源,较为真实地产生模拟用户负载,进行快速、高效的负载、压力测试。这种测试是一种新型的软件测试方式,是一种云计算技术的新应用,这种方式称为云测试^[24]。第二种层次的含义指对构建云计算基础设施服务以及上层云计算应用程序的测试。前者工业界 PushToTest 推出云测试的工具 TestMaker^[25],它可以支持本地和云端或者是两者皆可的测试方式,并且提供丰富的网络应用(Rich Internet Application, RIA),极大地简化了测试流程,提高了测试效率。有些组织^[26]要求用户在本地用 Selenium 编写好自动化测试脚本,然后上传到网站的平台上运行 Selenium 脚本,实现了快速按需测试的目的。学术界从不同的侧面对云测试做了相关研究,文献[27]利用云计算服务资源构建了网络管理系统的测试环境,有效地解决了大规模测试环境构建困难的问题,准确地测试了大规模网络管理系统的性能。后者的云计算测试,目前主要集中在对分布式基础设施服务(Iaas)问题的性能测试研究^[28-31],对于上层云计算应用程序测试有待进一步研究。文献[28]使用白盒度量的方法,分析从节点 DataNode 的日志文件,自动侦测 Hadoop 的执行失效问题。文献[29]在此基础上,从黑盒和白盒两个方面,更加完整地侦测 Hadoop 的执行问题。文献[30]引入了一种 Moschi 方法,即分解 MapReduce 执行过程,通过日志文件从时间、容量、空间角度刻画云计算基础设施 Hadoop 状态机模型的行为,反映出 Hadoop 执行的控制流和数据流,推理 Hadoop 执行过程中可能的性能问题。文献[31]则是在上述研究的基础上,通过模拟常见错误(如 CPU 瓶颈、网络连接

不稳定、任务意外终止等),注入 Hadoop 中观察其执行,来判定提出的 Ganesha 方法在确定 Hadoop 相关执行错误时的准确性,实验证明了 Ganesha 方法的可行性。

(3)仿真

云计算交付的是以网络为基础的可靠、可扩展的服务,同时各种应用在不同的负载、规模、位置有不同的配置、部署和组合方式,并且对服务资源池有不同的调度和使用策略,要保证高质量的服务,就要对不同基础设施和服务进行度量、测试、评估,以确保满足一定服务等级协议(SLA)的要求。在云计算基础设施服务搭建之前,有必要对其复杂的运行机制和管理进行仿真验证,以确保可行性。而在之后云计算基础设施服务使用的过程中,追踪和分析复杂的分布式云计算基础设施运行,是一件非常具有挑战性的问题,前面有些研究者^[28-31]对此进行了深入的研究,但是这些研究的前提是需要已经部署了相关的云计算的基础设施。而文献[32]开发的云计算仿真软件 CloudSim,从仿真角度模拟云计算基础设施的运行调度机制。在构建云计算基础设施服务之前,需要事先了解数据中心的可扩展性。文献[33]中提出 SPECi 仿真工具,用以分析云计算数据中心的可扩展性和性能,以确保数据中心的可用性。文献[34]针对开源的云计算服务框架 Hadoop 的 MapReduce 过程进行仿真,分析了 Hadoop 的 MapReduce 过程中可能会出现性能瓶颈问题,通过实验证明了该工具 MRPerf 能够较为精确地仿真 MapReduce 计算过程。这些相关文献为后续云计算的研究提供了有力的工具支持。仿真的方法虽然在一定程度上模拟了云计算基础设施即服务中的执行过程,但是面对众多的云计算平台实现,仍然有一定的局限性和适用范围。

(4)网络和安全

用户在使用云计算服务的时候,需要上传数据并存储在数据中心,安全性是用户关注的问题,这关系到云计算是否能够得到广泛运用,因此云计算服务的安全是研究的一个重要方向内容。目前,云计算的发展处于初级阶段,安全性的问题使得云计算服务和用户之间存在技术上的鸿沟。针对这样的问题,文献[35]提出了基于客户端的隐私数据管理,通过减少敏感数据传输,防止在不同的场景下泄露和丢失敏感数据,降低了云计算使用的风险。由此看出,在云计算设计^[36]的早期应该考虑安全性策略,同时网络间的用户和服务提供商之间都需要进行消息的传递、信息的交互和数据的共享,而云计算服务的分布式体系结构使得安全性问题更加复杂。为此文献[37-39]从网络拓扑结构、安全的协议格式和传输数据拥塞控制的角度确保云计算模式使用的安全性。随着云计算服务使用的日益广泛,对于不同的用户和服务提供商,数据的可见性不同,需要灵活的存取控制机制^[40-42],传统的存取控制方法已经不能完全适应新的环境。文献[42]在云计算环境下,提出了语义控制策略语言(Semantic Access Control Policy Language, SACPL)来描述存取策略,面向本体系统访问(Access Control Oriented Ontology System, ACOOS)以此语言为基础进行设计,在增强互操作性的同时保证数据的安全性,这也是云计算和语义 Web 技术相结合的应用。有些情况除了安全性要考虑以外,还要考虑到数据中心所在的地理位置存取的数据是否符合本地的法律。

(5)技术应用

云计算技术的发展极大地推动了传统领域技术在云计算平台下新的应用。有的研究者^[15]利用云计算强大的计算能力和低廉的成本,为诸如地球科学、生物信息科学、粒子物理学等电子科学(E-Science)提供科学计算能力,注重研究新的计算模式对原有领域学科产生的深远影响和改变。此外,有的学者^[43]利用云计算的应用特性把海量的数据存储在云计算端,通过高速宽带传输,进行分布式数据处理计算挖掘。通过提出的基准点,比较了 Sphere 云计算平台^[44]相对于 Hadoop 的计算速度优势。另外,上述云计算测试中第一层的含义,以及存取控制和语义 Web 的结合,本质上属于云计算技术的新应用。当然,云计算技术还有其他方面的应用,限于篇幅,在此不一一赘述。

(6) 成本

用户使用云计算模式进行新的应用时,必然需要把原有的软件程序移植到新的云计算模式,这就要考虑云计算模式和原有的计算模式的成本比较,因此制定何种精确的成本计算模型尤为关键。文献^[45]分别考虑服务器、软件、网络元素、人力等众多因素,给出了完整的计算模型,开发了相应的工具,在这方面进行了积极的探索和研究。云计算的服务资源是虚拟化的资源池,面对用户在不同的负载、响应时间同时调用云计算虚拟化的服务资源,需要有一套新的、完善的计费机制来加强云计算成本的管理^[46],同时调用云计算基础设施服务(IaaS)资源来扩展本地业务处理能力,不同的调度策略会产生不同云计算成本。文献^[47]对此问题做了深入的分析研究,总结了服务成本和性能之间的相互关系。

结束语 云计算是基于多种技术的新兴计算模式,随着现代软件应用和商务处理的全球化、信息化和自动化,必将为云计算的研究发展提供广泛的市场和应用背景。云计算不仅是虚拟化资源的集合,也不仅是在此之上的平台和应用实体的集合,而且是一种集虚拟化技术、网络技术、信息安全、效用计算、逻辑推理、软件工程、商务智能等技术为一体的新兴计算应用模式。无论是工业界还是学术界都提出了一系列实施技术和改进策略,并从理论和实际应用的角度进行了阐述。本文首先介绍了云计算的相关背景,分析了云计算现有的优势和亟待解决的问题,然后由此给出了云计算的定义,讨论了云计算服务的类型和框架并比较了 Web 服务、网格、云计算的区别和联系,最后针对云计算的性能、应用、仿真、网络安全、测试、成本等方向进行了分类论述,概述了现阶段云计算最新的研究方向,指出了各方向的研究目的。从理论和实际应用的角度分析了存在的问题,指出了未来云计算研发中应解决的关键问题和研究方向。

由上面的讨论分析可知,应用向云计算模式的转变引发了一系列开放的问题,有待解决。

(1)用户在选择使用众多云计算服务时,如何选择需要的服务应用,通过什么标准度量云计算服务特征,避免选择的主观性。

(2)以往 Web 服务定义的 WSDL 接口和 XML 数据类型方便用户的调用和信息的传输,需要考虑云计算的接口、数据类型怎样制定,采取何种具体的标准加强云计算供应商和用户间的互操作尚不明确。

(3)随着云计算模式的大量应用,是否所有的软件应用和开发都适合转向云计算的平台,这就需要考虑建立软件应用

属性到云计算服务属性的映射,以判定云计算的属性是否适合软件应用的关键属性。

(4)如何划分 SaaS 层次上云计算基本服务粒度,以便应用能够进行类似 Web 服务编排的服务组合,提高软件的重用性。

(5)云计算是一种分布式的计算模式,其地理位置、存储和扩展能力对用户均是透明的。无论是云计算开发者、提供商还是用户,如何追踪分析云计算服务应用的控制流和数据流,以判定云计算应用的行为和状态,是问题的关键。建立何种合适的模型,使云计算模型标准化、统一化,为测试、成本计算、性能提供标准依据,也是一个重要的问题。

(6)如何发挥云计算的特性,探索其在传统软件测试领域的应用^[48,49]。例如,传统软件测试用例的运行需要耗费大量物理设备和时间,尤其是回归测试更需要不断地运行测试用例。如果把这些需要运行的测试用例转向云计算的环境并行运行,其效率会极大提高。

(7)云计算服务本身的质量关系到用户能否大量使用服务。目前,研究主要集中在底层基础设施服务的性能分析、优化以及测试研究,但是上层的云计算应用服务的测试模型和测试标准^[50]同样需要研究和关注。

参 考 文 献

- [1] Leavitt N. Is Cloud Computing Really Ready for Prime Time? [J]. IEEE Computer Society Press, 2009, 42(1): 15-20
- [2] Armbrust M, Fox A, Grith R, et al. Above the clouds: A Berkeley View of Cloud Computing[R]. UCB/EECS-2009-28. Berkeley, USA; Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California at Berkeley, 2009
- [3] Vaquero L, Rodero-Marino L, Caceres J, et al. A break in the clouds: towards a cloud definition [J]. SIGCOMM Computer Communication Review, 2009, 39(1): 50-55
- [4] 刘鹏. 云计算[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010
- [5] 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
- [6] Lenk A, Klems M, Nimis J, et al. What's inside the Cloud? An Architectural Map of the Cloud Landscape[C]//Proceedings of the 2009 ICSE Workshop on Software Engineering Challenges of Cloud Computing. 2009: 23-31
- [7] Amazon Web Services[EB/OL]. <http://aws.amazon.com/>
- [8] Hadoop[EB/OL]. <http://hadoop.apache.org/core>
- [9] Dean J, Ghemawat S. MapReduce: Simplified data processing on large clusters[C]//Proceedings of the 6th Symposium on Operating Systems Design and Implementation. San Francisco, CA, 2004, 11(18): 137-150
- [10] Hbase[EB/OL]. <http://hadoop.apache.org/hbase/>
- [11] Zookeeper[EB/OL]. <http://hadoop.apache.org/zookeeper/>
- [12] Google app engine[EB/OL]. <http://appengine.google.com>
- [13] Microsoft azure[EB/OL]. <http://www.microsoft.com/azure/>
- [14] Salesforce.com[EB/OL]. <http://www.force.com/>
- [15] Hazelhurst S. Scientific Computing Using Virtual High-performance Computing: A Case Study Using the Amazon Elastic Computing Cloud[C]//Proceedings of the 2008 Annual Research Conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists on IT Research in Developing Countries: riding the wave of technology. Wilderness, South Africa, 2008: 94-103

- [16] Google Docs[EB/OL]. <http://docs.google.com/>
- [17] Buyya R, Yeo C S, Venugopal S. Market-oriented cloud computing: Vision, hype, and reality for delivering it services as computing utilities[C]//Proceedings of the 2009 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid. 2008
- [18] Geelan J. Twenty one experts define cloud computing. Virtualization [EB/OL]. <http://virtualization.sys-con.com/node/612375>, 2008-08
- [19] Buyya R, Yeo C S, Venugopal S. Market-oriented cloud computing: Vision, hype, and reality for delivering it services as computing utilities[C]//Proceedings of the 2009 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid. 2009; 1
- [20] Mark B, Apon A, Ferner C, et al. Emerging grid standards [J]. IEEE Computer Society, 2005, 38(4): 43-50
- [21] Xiong Kai-qi, Perros H. Service Performance and Analysis in Cloud Computing [C]//Proceedings of the 2009 Congress on Services. 2009; 693-700
- [22] Paton N W, Aragao M A T, Lee K, et al. Optimizing utility in cloud computing through autonomic workload execution [J]. IEEE Data Eng. Bull, 2009, 32(1): 51-58
- [23] Zaharia M, Konwinski A, Joseph A D. Improving MapReduce performance in heterogeneous environments[C]//Proceedings of the 8th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation. New York: ACM Press, 2008; 29-42
- [24] Cloud testing[EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_testing
- [25] PushToTest[EB/OL]. <http://www.pushtotest.com/cloudtesting>
- [26] Cloud testing[EB/OL]. <http://www.cloudtesting.com/>
- [27] Ganon Z, Zilbershtein I E. Cloud-based Performance Testing of Network Management Systems[C]//IEEE 14th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks. 2009; 1-6
- [28] Tan J, Pan X, Kavulya S, et al. SALSA: Analyzing logs as state machines [C] // USENIX Workshop on Analysis of System Logs. San Diego, CA, 2008
- [29] Tan J, Pan X, Kavulya S, et al. Mochi: Visual Log-Analysis Based Tools for Debugging Hadoop[EB/OL]. http://www.usenix.org/event/hotcloud09/tech/full_papers, 2009
- [30] Men B. the Elephant: Piecing Together Hadoop for Diagnosis [EB/OL]. <http://reports-archive.adm.cs.cmu.edu/anon/anon/home/ftp>, 2009
- [31] Pan X, Tan J, Kavulya S, et al. Ganesha: Black-Box Diagnosis of MapReduce Systems[J]. ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 2009, 37(4): 8-13
- [32] Buyya R, Ranjan R, Calheiros R N. Modeling and simulation of scalable Cloud computing environments and the cloudSim toolkit: Challenges and opportunities[C]//International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS '09). 2009; 1-11
- [33] Sriram I. SPECI: a simulation tool exploring cloud-scale data-centers[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Cloud Computing(CloudCom '09). 2009; 381-392
- [34] Wang Guan-ying, Butt A R, Pandey P, et al. Using realistic simulation for performance analysis of mapreduce setups[C]//Proceedings of the 1st ACM Workshop on Large-scale System and Application Performance. 2009; 19-26
- [35] Mowbray M, Pearson S. A Client-Based Privacy Manager for Cloud Computing[C]//Proceedings of the Fourth International ICST Conference on Communication System Software and Middleware. 2009; 1-8
- [36] Pearson S. Taking account of privacy when designing cloud computing services [C]//Proceedings of the 2009 ICSE Workshop on Software Engineering Challenges of Cloud Computing. 2009; 44-52
- [37] Bernstein D, Ludvigson E. Networking Challenges and Resultant Approaches for Large Scale Cloud Construction[C]//Proceedings of the 2009 Workshops at the Grid and Pervasive Computing Conference, GPC. 2009; 136-142
- [38] Bernstein D, Ludvigson E, Sankar K, et al. Blueprint for the Intercloud-Protocols and Formats for Cloud Computing Interoperability[C]//Proceedings of the 2009 Fourth International Conference on Internet and Web Applications and Services. 2009; 328-336
- [39] Matos M, Sousa A, Pereira J, et al. Clon: Overlay Network for Clouds[C]//Proceedings of the Third Workshop on Dependable Distributed Data Management. Nuremberg, Germany, 2009; 14-17
- [40] Descher M, Masser P, Feilhauer T, et al. Retaining Data Control to the Client in Infrastructure Clouds[C]//International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES '09). 2009; 9-16
- [41] Hirofuchi T, Ogawa H, Nakada H, et al. A Live Storage Migration Mechanism over WAN for Relocatable Virtual Machine Services on Clouds[C]//Proceedings of the 2009 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid. 2009; 460-465
- [42] Hu L, Ying S, Jia X, et al. Towards an Approach of Semantic Access Control[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Cloud Computing. 2009; 145-156
- [43] Grossman R L, Gu Y. Data mining using high performance clouds: experimental studies using sector and sphere[C]//Proceeding of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2008; 920-927
- [44] The Sector Project. Sector, a distributed storage and computing infrastructure, version 1. 4 [EB/OL]. <http://sourceforge.net/projects/sector/>
- [45] Li X, Li Y, Liu T, et al. The Method and Tool of Cost Analysis for Cloud Computing [C] // IEEE International Conference on Cloud Computing (CLOUD-II 2009). Bangalore, India, September 2009; 93-100
- [46] Elmroth E, Galán F, Henriksson D, et al. Accounting and billing for federated cloud infrastructures[C]//2009 Eighth International Conference on Grid and Cooperative Computing (GCC 2009). IEEE Computer Society Press, 2009; 268-275
- [47] de Assuncao M D, di Costanzo A, Buyya R. Evaluating the cost-benefit of using cloud computing to extend the capacity of clusters[C]//Proceedings of the 18th ACM International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC '09). 2009; 141-150
- [48] Parveen T, Tilley S, Daley N, et al. Towards a Distributed Execution Framework for JUnit Test Cases[C]//IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM), 2009; 425-428
- [49] Avetisyan A I, Campbell R, et al. Open Cirrus: A Global Cloud Computing Testbed [J]. Computer, 2010, 43(4): 35-43
- [50] Chan W K, Mei Li-jun, Zhang Zhen-yu. Modeling and testing of cloud applications[C]//Services Computing Conference (APSCC 2009). IEEE Asia-Pacific, 2009; 111-118