

# 开源 IaaS 云服务软件平台的分析与比较

雷 擎

(对外经济贸易大学信息学院 北京 100029)

**摘 要** 作为一种新兴的计算模式,云计算已经由最初的理论探索,逐渐进入了理论、技术与实际应用共同发展的阶段。开源云平台项目的研究与发展在其中起到了重要作用。迄今为止,使用开源 IaaS 云平台搭建自己的公共云或私有云,已经成为很多学术机构和商业企业信息管理、信息服务和技术研究中经济而有效的解决方案。为了评价和选择合适的 IaaS 云平台,根据 NIST 云模型,从体系结构、资源抽象和控制技术、云服务管理、安全策略、社区规模及活跃度 and 基本情况等多个方面抽象出详细指标,对 4 个具有代表性的开源 IaaS 云平台软件进行了研究、分析和比较。

**关键词** 云计算, IaaS, 开源云平台

**中图法分类号** TP316 **文献标识码** A

## Analysis and Comparison of Open Source IaaS Platform

LEI Qing

(School of Information Technology & Management, University of International Business and Economics, Beijing 100029, China)

**Abstract** As a new computing model, cloud computing has been explored from the initial theoretical stage gradually into a common development of theories, techniques and applications, while the research and development in open cloud projects play an important role. So far, many academic institutions and commercial enterprise have considered open cloud as an economical and effective solution of building public cloud or private cloud for information management, information services and technology research. In this paper, we presented a comparative study about four open IaaS platforms. We discussed in detail about their architecture, resource abstraction and control layer, cloud service management, security, the scale of community and so on. We hoped that this paper can provide a clear guide for evaluating the possible adoption of cloud technology.

**Keywords** Cloud computing, IaaS, Open source cloud

## 1 引言

云计算是一种新兴的计算模式。通过云计算服务,用户不需要在本地配置成本高昂的固定软硬件资源,可以根据计算和存储的需要,按时段动态地向云服务申请相应的资源和服务。基础设施即服务(IaaS)是云计算服务模型中最低层的服务,目的是为用户提供计算、存储和网络等基础资源,提供虚拟机服务。

自从 2006 年 8 月 Google 在其搜索引擎大会首次提出“云计算”(Cloud Computing)的概念后,对云体系结构和技术的研究有两方面的主导力量:一是 IT 商业公司,例如 VMware、Amazon、Google 和 Microsoft 等,在研发的同时,针对用户的反馈和市场需求解决一些关键问题;二是大学、研究机构和志愿者,在开源环境中通过资源的共享和相互支持,不断推进并行计算、虚拟。

对于大型企业或学术机构来说,使用商业云服务成本太高,也不能达到其管理或研究的目的。因此根据实际的需求,使用开源云计算软件来搭建自己的私有云,通常是一个经济有效的解决方案。

开源云计算软件是指创建云计算环境或系统的开源软件,其遵循开源软件(OSS)软件版权规则<sup>[1]</sup>。开源云计算软件免费、自由、开放的特性,不仅体现在其软件功能和源代码对外界开放,还体现在其云平台各个方面技术实现的开放,这使软件适应不同的需求,适合二次开发、技术研究和改进。开源云计算软件的特性,能够为云计算系统和网络虚拟化等相关领域的研究人员提供他们所需要的灵活性的平台。开源云平台社区中研究者的加盟、交流、合作和投入,也会为推动云计算技术的发展做出不可忽略的贡献。

在目前众多的开源云计算软件中<sup>[2]</sup>,具有代表性 IaaS 云服务平台软件的有 Eucalyptus、OpenStack、CloudStack、OpenNebula。无论是在学术界,还是在商业企业,使用自由开放的云计算平台软件来搭建私有云服务系统,已经有了很多实际的应用案例。

本文根据 NIST 的云模型,结合实际的云平台实现技术,从体系结构、资源抽象和控制技术、云服务管理、安全策略、社区规模及活跃度等方面出发,提出了 IaaS 的评价模型和详细指标,对 4 个开源 IaaS 软件的平台进行分析与比较。

## 2 开源 IaaS 软件体系结构分析

IaaS 云架构的核心部分是云操作系统,它管理物理和虚拟基础设施,并根据用户服务的需求控制虚拟资源的配置<sup>[3]</sup>。下面对各开源 IaaS 软件的体系结构进行简单的分析。

### 2.1 Eucalyptus

Eucalyptus 是学术界使用最早的自由和开源的计算机软件之一,主要实现了类似商业 Amazon EC2 云平台的 IaaS 服务,能够搭建私有云和混合云计算环境。

Eucalyptus 的体系结构是一个简单、灵活和模块化的层次结构(见图 1)。在实现时,每一个高层的系统组件作为一个独立的 Web 服务存在。

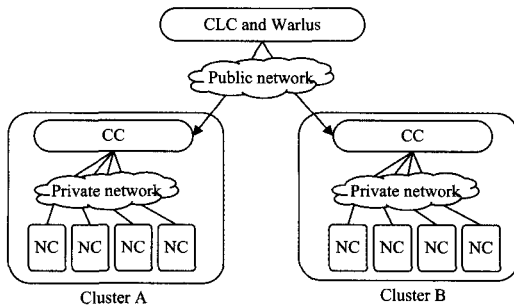


图 1 Eucalyptus 的体系结构<sup>[4]</sup>

Eucalyptus 由节点控制器(Node Controller, NC)控制主机上虚拟机实例的运行、检查和终止,通过群控制器(Cluster Controller, CC)收集 NC 控制的虚拟机上运行的信息,调度特定节点控制器上虚拟机的执行,管理网络虚拟实例,由存储控制器(Storage Controller, Walrus)存储并访问虚拟机镜像和用户数据。Walrus 是一个类似 Amazon's S3 界面的 put/get 存储服务, Walrus 使用户可以直接向 Eucalyptus 云输入和输出数据流,也可以作为 VM 的存储服务来使用,访问节点上虚拟机的根文件系统、内核和内存镜像。云控制器(Cloud Controller, CLC)是云服务提供给外界的 Web 界面,是用户和管理员进入云的系统管理界面。

### 2.2 OpenStack

OpenStack 是一个由 NASA 提供项目支持的自由开放云平台软件,可以提供 IaaS 云平台服务,适用于创建各种类型的云平台。Openstack 所有的管理控制都可以通过 dashboard 进行,同时用户也可以使用 Web 界面来配置资源。OpenStack 在开发过程中吸取了其他开源软件云计算实现的新技术,能提供更加全面的云服务支持。但它由于注重大而全,系统比较复杂。

到目前为止,OpenStack 取得了 Linux 提供商的普遍认同和支持。2011 Ubuntu 的开发人员决定采用 OpenStack 云平台,2012 Red Hat 发布了其支持 OpenStack 的版本。

OpenStack 的 IaaS 的服务是通过一系列相关的服务来实现的,每一种服务提供对应的 API,可以根据需要安装部分或所有的服务。OpenStack 概念系统结构是一个网状的结构(见图 2),具体的服务包括操作面板(Dashboard,“Horizon”)、计算(Compute,“Nova”)、网络(Network,“Quantum”)、块存储(Block Storage,“Cinder”)、对象存储(Object Storage,“Swift”)、镜像(Image,“Glance”)、身份识别服务(Identity Service,“Keystone”)和计量服务(Telemetry Service,“Ceilo-

meter”)等服务模块。

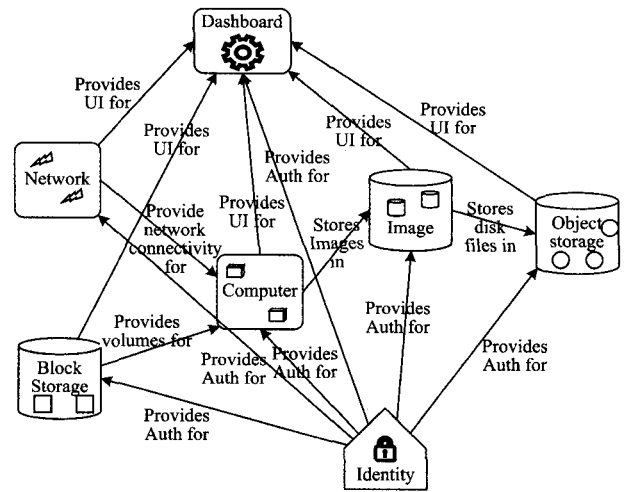


图 2 OpenStack 概念系统结构

### 2.3 CloudStack

CloudStack 是由 Cloud.com 开发的,称为 VMOps。2010 年 5 月,Cloud.com 在 GNU 下发布了 CloudStack 作为自由软件。

CloudStack 开放云平台软件可以用于搭建公用、私有和混合的 IaaS 云,支持云中多种虚拟机管理程序的部署,能够管理多个地理上分布的数据中心的上万个节点,自动配置每个用户虚拟机的网络和存储资源,具有图形化的 Web 管理界面,也提供 API 编程使用的云资源。CloudStack 的云基础架构见图 3,它包括区域、容器、主存储、辅助存储、网络、集群、主机和管理服务器。

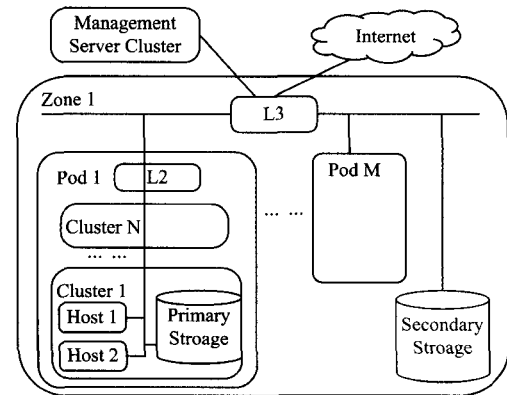


图 3 CloudStack 的云基础架构

### 2.4 OpenNebula

OpenNebula 是 2005 年由略伦特和蒙特罗作为一个研究项目首先创建的,于 2008 年 3 月首次公开发行。这个项目在针对云计算中的核心技术,即大规模分布式架构上进行有效和可扩展的虚拟机管理研究领域做出了重要贡献。OpenNebula 的许多创新的功能已经在云计算方面的各种项目中采用,例如 OpenStack。

OpenNebula 的体系结构分为 3 个层次(见图 4),其中最底层的驱动(Drivers)将不同的虚拟化部分、存储和检测技术以及云服务作为插件植入核心中;核心(Core)实现云服务的核心功能,包括虚拟机、存储、传输网络和主机管理等;最上层的工具(Tools)是使用 OpenNebula 核心提供的接口开发的管理工具。

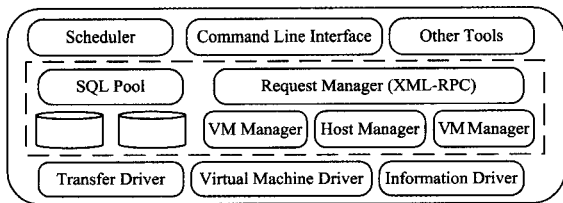


图 4 OpenNubula 的体系结构

### 3 开源 IaaS 软件的比较

NIST 云计算参考模型定义了 5 个主要组成部分：云用户 (Cloud Consumer)、云提供者 (Cloud Provider)、云运营者 (Cloud Carrier)、云稽查者 (Cloud Auditor) 和云中间商 (Cloud Broker)<sup>[5]</sup>。下面根据 NIST 云计算参考模型，主要从云提供者的角度，参考目前云计算的实际发展状况，对这 4 个开源 IaaS 软件进行比较。

#### 3.1 资源抽象和控制层比较

云提供者模块分为服务编排模块 (Service Orchestration)、云服务管理模块 (Cloud Service Management)、安全模块 (Security) 和隐私模块 (Privacy) 4 个功能子模块<sup>[5]</sup>。对于提供 IaaS 服务的云平台来说，服务编排子模块的核心就是资源抽象和控制层。

资源抽象和控制层包含的系统组件通过软件抽象，使云服务提供者能够提供和管理用户对物理计算资源的访问。这一层使用资源抽象技术，通过资源抽象组件，例如虚拟化程序、虚拟机、虚拟数据存储和其他计算资源的抽象，来保证底层物理资源能够被高效、安全、可靠地使用。该层的控制软件组件负责资源分配、接入控制和使用监控。这一层的功能实现的程度体现了云计算实现的关键特性。

表 1 对各 IaaS 开源软件在这一层的实现，分计算和网络两个部分进行了比较。

表 1 资源抽象和控制层比较

管理	服务	Eucalyptus	OpenStack	CloudStack	OpenNebula
计算	虚拟机 VM	Yes(CL)	Yes(GUI)	Yes(GUI)	Yes(GUI)
	镜像 Image	Yes(CL)	Yes(GUI)	Yes(GUI)	Yes(GUI)
	卷 Volume	Yes(CL)	Yes(GUI)	Yes(GUI)	Yes(GUI)
	快照 Snapshot	Yes(CL)	Yes(GUI)	Yes(GUI)	No
网络	专用网络	Yes	Yes(GUI)	Yes(GUI)	No
	公用网络	Yes	Yes(GUI)	Yes(GUI)	Yes
	动态 IP	Yes	Yes(GUI)	高级网络模式使用	No
	负载均衡	使用其他的负载均衡	Load-Balancer-as-a-Service Agent	使用负载均衡插件	N/A
存储		Warlus	块存储，对象存储，NSF	数据库、NFS	

从表 1 可以看出，除 OpenNebula 之外，其他 3 个 IaaS 软件都实现了计算虚拟化的基本服务，并且网络虚拟化可以在公共网络和专用网络中灵活配置，也可以使用 DHCP 的动态网络 IP 配置方式；OpenStack 和 CloudStack 实现了防火墙和负载均衡的功能，并为用户资源定义和配置提供了 Web 图形界面。

#### 3.2 云服务管理比较

云服务管理指云用户需要的、所有与服务相关的管理和操作功能，包括 3 个方面的内容：关于用户管理、合同管理、会计和帐单管理等方面的业务支持 (Business Support)，关于计量、监测、服务级协议 (Service Level Agreements, SLAs) 管理等方面的供应和配置 (Provisioning and Configuration)，可移植性和可操作性 (Portability and Interoperability)<sup>[5]</sup>。

对于大多数开源 IaaS 软件平台来说，它们更加注重后两方面，即监测、计量和审计，以及可移植性和可操作性的功能，对于与商业相关的业务支持关注度不高。表 2 就云服务管理的后两方面，即供应与配置、可移植性和可操作性，对各 IaaS 开源软件进行了比较。

表 2 云服务管理比较

管理	服务	Eucalyptus	OpenStack	CloudStack	OpenNebula
供应和配置	监测审计	Accounting system,	Telemetry Service	Event/Audit Logs	Accounting system, periodically-Monitoring
可移植性和可操作性	多虚拟化程序	Xen, KVM	KVM, LXC, QEMU, UML, VMWare ESX/ESXi, Xen, Power-VM, Hyper-V.	KVM, vSphere, XenServer/XCP	Xen, KVM, VMware
	Linux OS	CentOS 6, RHEL	Debian 7. 0, openSUSE, SUSE, Red Hat, CentOS, Fedora, Ubuntu 12. 04	CentOS, RHEL 6. 3+ or Ubuntu 12. 04	RedHat, Ubuntu, SUSE, Cent-OS, openSUSE, Debian
	部署	Private	Private, public, hybrid	Private, public, hybrid	Private, public, hybrid
	API	Java	PHP, Java, python, Ruby C#/. NET, Go, Perl	Java, PHP	Ruby, JAVA, XMLRPC API
兼容云平台		Amazon EC2, S3	Amazon EC2, S3	Amazon EC2, S3	Amazon EC2

4 个 IaaS 开源软件都提供监测与审计的功能，相对来说 OpenStack 使用特定的一个服务组件来实现，比其他 3 个更注重供应和配置这一部分的实现。

在可移植性和可操作性方面，相对于目前其他云服务软件来说，这 4 个软件对于虚拟化程序 (Hypervisor) 都有较强的支持，都支持主流的 Xen, KVM, VMware 虚拟化程序。除此之外，CloudStack 和 OpenNebula 还支持 QEMU 虚拟化程序，OpenStack 支持 QEMU, LXC, Hyper-V 等虚拟化程序。

在部署过程中，除了 Eucalyptus 之外，都可以根据需要部署成公用云、私有云或混合云。Eucalyptus、OpenStack、CloudStack、OpenNebula 所基于的操作系统都是 64 位的 Linux 操作系统，支持多种不同的版本，其中 OpenStack 和 OpenNebula 在版本支持方面有更多的优势。

提供可编程 API 访问云资源已成为云计算必须具备的特点之一，几乎所有的云都支持基于 Java 语言的 API 访问。相对于其他几个 IaaS 开源软件来说，OpenStack 的支持更加全面，它为大多数 Web 应用程序开发语言提供 API 访问。

### 3.3 安全比较

安全是所有信息系统都需要解决的关键问题,涉及到云计算体系结构参考模型的所有部分,从物理安全到应用安全的所有层。基于云的系统需要解决的安全问题有很多方面,

具体来说包括身份验证、授权、可用性、保密性、身份管理、诚信、审计、安全监控、事件响应和安全策略管理等。表3中列出了4个软件在身份认证、防火墙、通信和网络方面对于安全的考虑和实现策略的比较。

表3 安全比较

安全服务	Eucalyptus	OpenStack	CloudStack	OpenNebula
身份认证	SSHKeyPair, X.509, LDAP/Active Directory(AD)	SSHKeyPair, Token, LDAP, X509, 一次性口令等外部认证方式	SSHKeyPair LDAP 服务器	SSHKeyPair, X509, LDAP/Active Directory(AD)
通信	SSL, CA	CA, SSL/TLS, 加密算法和密码模式	N/A	N/A
防火墙管理	N/A	Firewall-as-a-Service(FWaaS) Agent	虚拟路由器, 软件防火墙	N/A
网络	VLAN 隔离	VLAN 隔离, 隧道, 访问控制列表, 三层路由, NAT	VPN, MPLS, 静态 NAT, 内部 VLAN 路由。	访问控制列表

Eucalyptus 主要通过认证、授权和会计系统对云资源进行访问控制。用户识别的模型和认证模式基于 AWS 识别和 IAM 系统, 并与它们兼容。

OpenStack 的身份识别服务 KeyStone 是其核心服务之一, 主要实现用户身份认证、令牌授权管理和安全通信。OpenStack 主要通过 KeyStone 对用户认证和授权来控制系统资源的安全, 给用户设置类似角色的安全域来进行资源分配和管理, 支持基于 CA, SSL/TLS、加密算法和密码模式的通信<sup>[6]</sup>。

CloudStack 使用用户和用户组的方式, 支持使用 LDAP 服务器实现用户认证, 在用户调用其 API 时设置 LDAP 认证, 支持 SSH Keys 的用户和口令认证。

OpenNebula 通过对用户和用户组进行管理, 支持多种用户认证方式, 并使用角色进行授权来控制资源。使用访问控制列表, 对云的各种资源, 例如虚拟机、虚拟网络、虚拟镜像等, 进行共享和隔离的安全控制。

从表3可以看出, 用户的身份认证和授权是所有 IaaS 云计算软件重点考虑和实现的安全控制方式, 都支持多种内部或外部的用户认证模式。相比较而言, OpenStack 平台的研究和开发吸取了更多前人的技术和经验, 支持更多的安全措施。

### 3.4 其他比较

前面对云提供者模块的前3个功能进行了比较, 最后所包含的隐私(Privacy)功能主要是从法律意义上约束云提供者对于用户信息的提取、使用和保护, 不属于技术的范围, 需要在 IaaS 云平台的具体搭建、运行和管理中通过法律和制度来保障用户的隐私。

云平台搭建之后, 资源的管理、运行和维护是一个长期的过程, 而云计算是一项新兴的信息技术, 开源的 IaaS 云平台软件的发展历史都很短, 初始发布的日期相差在 1~2 年之内(见表4)。所以云服务提供者在选择具体的软件时不仅要考虑云平台软件的功能、安全, 还需要考虑其支撑软硬件的稳定性、可扩展性, 以及技术支持和维护的难度与成本。下面从技术支持、用户群和开源社区状况方面作一个简单的比较。

Eucalyptus, OpenStack, CloudStack, OpenNebula 都是开源软件, 软件下载和安装都是免费的, 并且都具有对应的开源社区提供技术、研究和开发讨论的平台, 这是一个自由的公共平台, 没有约束性。对于使用软件的用户的具体技术支持需求, 由具体的商业公司提供商业支持。

表4 基本情况

	Eucalyptus	OpenStack	CloudStack	OpenNebula
发布时间	2009年11月	2010年7月	2010年5月	2008年3月
项目起源	University of California, Santa Barbara	Rackspace Hosting 和 NASA	Cloud.com	Ignacio M. Llorente 和 Rubén S. Montero
开源社区支持	Yes	Yes	Yes	Yes

开源社区由个人、团队和组织组成, 用户、开发人员、研究人员、爱好者、服务提供商或公司都可以加入, 开源社区对于软件的设计、开发、使用和改进都具有极其重要的作用和影响, 因此其规模、增长度和活跃度都体现了大众对软件的关注度、接受度和使用规模。

对这个项目的官方论坛和邮件列表从 2012 年 10 月起 12 个月内的数据进行了统计。从讨论条数来看, 与 Eucalyptus 和 OpenNebula 相关的讨论一直保持在每月 300~500 条消息而与 OpenStack 和 CloudStack 相关讨论有很大增长, 由每月 1500~2000 条消息, 上升到每月 3500~4000 条消息; 从活跃用户来看, CloudStack 项目的活跃用户数量由约 200 增长到 300 左右, OpenNebula 和 Eucalyptus 一直保持在 100 左右, 基本上没有增长, OpenStack 项目的活跃用户数量增长最快, 从 300~400 增长到 800~900, 远大于其他 3 个项目。

Eucalyptus, OpenStack, CloudStack, OpenNebula 都被世界上的学校、研究机构和企业接受, 具有了自己的用户群。中国工商银行、NIST、诺基亚西门子通信(NSN)、索尼等较早使用 Eucalyptus 建立了自己的私有云; OpenStack 的用户群增长最快, 包括 Intel、IBM、SUSE、Harvard、MIT 和 Seagate 等各类企业和学校, 随着 SUSE 和 Ubuntu 官方发布支持其云平台的稳定版本, 有更多学术和商业用户加入其用户群。OpenNebula 的用户有黑莓、中国移动、BBC 等。

**结束语** 本文从软件体系结构和 NIST 的云参考模型中云服务提供者功能两方面对 Eucalyptus、OpenStack、CloudStack、OpenNebula 4 个开源 IaaS 软件进行了分析比较。

再从云提供者的角度进行分析比较, 列出了用户或研究人员在考虑搭建或使用云平台时所需要考虑的大多数指标, 可以为他们提供简洁可靠的参考。

对于云平台的搭建者和使用者来说, 他们首先需要考虑云平台的云服务功能和技术支持, 还需要考虑开源云平台的性能和安全。

云计算经过十年的发展, 到目前为止, 无论是商业云还

(下转第 449 页)

课程名称	主讲教师	开课学校	专家评价	用户评价	进入课程
"登心旁"的写法	于春花	小昆山学校	2.66分		
根据句意填写适当的单词	马丹凤	华阳桥学校	2.0分		
3D虚拟机器人	周萍	民乐学校	4.33分		
50米快跑	管沐麟	九亭二小	1.66分		
58一般过去式的时间状语	王琳娜	九亭小学		3.0分	

(a) Chrome 中的显示效果

课程名称	主讲教师	开课学校	专家评价	用户评价	进入课程
"登心旁"的写法	于春花	小昆山学校	2.66分		
根据句意填写适当的单词	马丹凤	华阳桥学校	2.0分		
3D虚拟机器人	周萍	民乐学校	4.33分		
50米快跑	管沐麟	九亭二小	1.66分		
58一般过去式的时间状语	王琳娜	九亭小学		3.0分	

(b) IE10 中的显示效果

图 6

**结束语** 本文介绍了一种基于网页快照的 Web 应用界面浏览器兼容性检测方法,该方法基于自动化测试工具来实现项目中大部分页面的自动浏览,具有轻便、易用的优势。将获取到的不同页面在不同的浏览器里的快照进行比较,通过多次的实验调优,给开发人员提供有意义的支持来解决兼容性问题。该方法在常用的几个浏览器中被证明有效。

文中的自动化运行容器使用开源的 Sahi 工具,其存在部分不符合本文要求的功能,因此在后面的工作中,我们可以做一个更适用于本实验的自动化运行容器。其次,可增加一些更友好的提示给开发人员。鉴于本方法是基于引入 JS 文件到项目中的方法来实现的,可实验的 Web 应用比较少,之后会考虑如何通过注入的方式实现在非开发应用中的使用。最后,本方法中浏览器页面快照是在网页加载完成之后获取的,若页面存在着局部刷新或异步加载部分,则无法对其兼容性进行验证,未来工作中会使用延时等方法完善此功能。

## 参考文献

- [1] Dallmeier V, Burger M, Orth T, et al; WebMate: a tool for testing Web 2.0 applications[C]//Proc. Workshop on JavaScript Tools(JSTools 2012). 2012; 11-15
- [2] Fan Fu-xing, Huang Da-qing, Zhou Mo. Research and implementation of automated testing framework based on Web[J]. Electronic design engineering, 2012(20): 36-38
- [3] Choudhary S R, Versee H, Orso A. WEBDIFF: Automated identification of cross-browser issues in web applications[C]//2010 IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM). 2010; 1-10
- [4] Choudhary S R, Prasad M R, Orso A. CrossCheck; Combining

Crawling and Differencing to Better Detect Cross-browser Incompatibilities in Web Applications[C]//2012 IEEE Fifth International Conference on Software Testing, Verification and Validation(ICST). 2012; 171-180

- [5] Semenenko N, Dumas M, Saar T. Browserbite; Accurate Cross-Browser Testing via Machine Learning Over Image Features[C]//Proceedings of the 28th International Conference on Software Maintenance(ICSM). IEEE Computer Society, 2014; 528-531
- [6] Mesbah A, Prasad M R. Automated cross-browser compatibility testing[C]//Proceedings of the 33rd International Conference on Software Engineering. 2011; 561-570
- [7] Bian Nai-zheng. A low coupling Web automation test framework based on Selenium [J]. Computer applications and software, 2014, 31(8): 13-16, 37
- [8] Zhang Fan. The implementation of WEB automation test design based on RFT software [D]. Wuhan; Huazhong University of Science and Technology, 2013
- [9] Qing Xin. Web UI automated testing based on Selenium [D]. Guangzhou; South China University of Technology, 2012
- [10] Gang Xiao-ming. Reasonable application of software test automation [J]. Computer Applications and software, 2010, 27(8): 172-174, 214
- [11] Wu Ling-lin. The research and application of software test automation based on Selenium [J]. Computer and Modernization, 2013, 1(2): 65-68
- [12] Xing Wei-chao, Gao Xiao-tong. Design and implementation of Webpage test automation framework [J]. Computer Applications and Software, 2012, 29(9): 167-170, 211
- [13] Kong Ying-hui. Research and implementation of network page real-time information acquisition based on Watir [J]. Computer Applications and Software, 2014, 31(5): 103-105, 144
- [14] Chen Xiao-yu, Huang Zhen, Liu Xuan-zhe, et al. A Chrome browser based user capture and playback tool [J]. Computer Science, 2014, 41(11): 112-117
- [15] Ye Xin-ming, Liu Liang. The design, implementation and comparison of Web performance testing replay browser [J]. Computer Science, 2006, 33(9): 58-60
- [16] Ma Yong-heng, Xiong Qian-xing, Yang Jine, et al. Study on design method of W3C XML Schema mode [J]. The Research and Application of Computer, 2006(5)
- [17] Wang Qing. Research and development of a Web automation testing framework Watir [D]. Wuhan; Wuhan University of Technology, 2011
- [18] Zhang Zhen. Research and implementation of ActiveX control operation support in Firefox [D]. Dalian; Dalian University of Technology, 2008

(上接第 424 页)

是开源云技术都已经具有了规模服务的技术和能力,云平台的性能、管理和安全是云计算研究领域下一步值得研究的课题。

## 参考文献

- [1] Laurent S, Andrew M. Understanding Open Source and Free Software Licensing[M]. USA; O'Reilly Media, 2008
- [2] Free software for cloud computing[OL]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Free\\_software\\_for\\_cloud\\_computing](http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Free_software_for_cloud_computing)
- [3] Moreno-Vozmediano R, Montero R S, Llorente I M. IaaS Cloud

Architecture; From Virtualized Datacenters to Federated Cloud Infrastructures[J]. Computer, 2012, 45(12): 65-72

- [4] Daniel N, Wolski R, Grzegorzcyk C, et al. The eucalyptus open-source cloud-computing system[C]//9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, 2009(CC-GRID'09). 2009; 124-131
- [5] NIST Cloud Computing Reference Architecture[OL]. [http://www.nist.gov/customcf/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=909505](http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=909505)
- [6] OpenStack Security Domains[OL]. [http://docs.openstack.org/security-guide/content/ch005\\_security-domains.html#ch005\\_security-domains-idx39040](http://docs.openstack.org/security-guide/content/ch005_security-domains.html#ch005_security-domains-idx39040)