基于 CMM/CMMI 的云计算能力评价研究 *

叶世绮^a, 赵喆^b, 王辉^b

(暨南大学 a. 信息科学技术学院; b. 管理学院, 广州 510632)

摘要: 将 CMM/CMMI 思想引入云计算领域, 从多个角度研究云计算的关键能力, 通过文献研究和文献计量确定其评价指标, 构建云计算能力成熟度模型, 初步形成较完整的云计算能力评价体系。该评价体系力图在研究视野和方法上实现创新, 以期对指导各类云计算系统能力的评价具有积极的意义。

关键词: 云计算能力成熟度; 能力评价; 模型集成

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)01-0107-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.030

Research of cloud computing capability evaluation based on CMM/CMMI

YE Shi-qi^a, ZHAO Zhe^b, WANG Hui^b

(a. School of Information Science & Technology, b. School of Management, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: This paper introduced CMM/CMMI to cloud computing areas, firstly researched the key capability of cloud computing from various perspective, then determined the appraisal indexes of cloud computing capability according to literature study and bibliometrics, and constructed a new cloud computing capability maturity model, which primarily formed a more complete cloud computing capability evaluation system. It tried to achieve innovation in the research vision and approach in order to make it positive to guide evaluation of various cloud computing systems.

Key words: cloud computing capability maturity; capability evaluation; model integration

2007 年 IBM 和 Google 宣布了云计算领域的合作后, 云计算吸引了众人的关注, 开始作为一种全新的商业模式和应用计算方式被提出, 并迅速成为产业界和学术界研究的热点。各国、各公司也纷纷将云计算作为其参与国际化竞争的战略制高点。目前云计算主流供应商和科研人员研究云计算的视角不一致, 使得对云计算的理解也不尽相同, 在一定程度上影响了云计算发展的进程。

为了促进云计算的发展, 在已有的研究和实践基础上, 本文将 CMM/CMMI 的思想引入云计算领域, 提出了一个新的云计算能力成熟度模型, 依据模型中的关键评价指标, 确定一个云计算系统的成熟度等级, 帮助企业认清其云计算系统的现状和潜力以及制约云计算系统发展的真正因素。因此, 研究云计算能力成熟度有助于明确云计算系统自身的劣势和优势, 帮助企业制定正确的发展战略, 促进企业提升其云计算能力, 从而促进云计算行业的健康发展。

1 云计算能力成熟度的研究和发展现状

1.1 云计算研究

云计算的思想可以追溯到 20 世纪 60 年代, 麦卡锡 (John McCarthy) 曾提出“计算迟早有一天会变成一种公用基础设施”, 即将计算能力作为一种像水和电一样的公用事业提供给

用户。1999 年 Salesforce.com 提出了通过一个网站向企业提供企业级应用的观点, 成为云计算的第一个里程碑。2007 年 IBM 和 Google 宣布在云计算领域进行战略合作, 从此云计算开始深入人心, 并引发了新一代互联网技术革命。

目前关于云计算没有统一的定义, Hewitt^[1]、Wang Li-zhe 等人^[2]、Buyya^[3] 和 UC Berkeley^[4] 等分别从信息转移、云计算系统的功能、市场和云计算的应用范围等角度给云计算下了定义。归纳以上的定义, 本文给出的云计算定义为: 云计算是一种新的计算模式, 把计算资源、存储资源、网络资源等各种资源作为服务通过网络提供给用户。通过对当前不同云计算方案的分析, 本文总结出各种云计算方案的特性: a) 超大规模; b) 虚拟化; c) 可靠性、可用性、可扩展性; d) 服务多样性; e) 经济性。

云计算体系架构是指导具体系统设计的首要前提。云计算应用广泛, 系统规划和设计极易因角度的不同而产生不同的结果。随着应用需求的不断发展, 各种新技术将逐渐纳入云计算体系中, 体系架构的设计也将决定云计算的技术细节、应用模式和发展趋势。Youseff 等人^[5] 依据可组合性对云系统进行了分类, 并重点介绍了云的层次栈, 阐述了各层次内涵、作用、框架, 并深入分析了它们之间的相互依存的关系, 有利于加强对云系统分类、联系和内部依存关系的理解。云计算涉及多种技术, 这些技术在不同的应用情境下具有不同的应用需求和形态。参照 Youseff^[5] 和 Lenk 等人^[6] 提出的体系框架, 对云

收稿日期: 2011-05-25; 修回日期: 2011-07-22 基金项目: 广东高校产学研结合示范(创新培养)基地和科技成果转化项目 (CGZH200807)

作者简介: 叶世绮(1960-), 男, 福建厦门人, 副教授, 硕导, 主要研究方向为信息管理与信息系统、建模技术 (ojwlg@jnu.edu.cn); 赵喆(1987-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为管理科学与工程; 王辉(1986-), 女, 山东聊城人, 硕士研究生, 主要研究方向为管理科学与工程。

计算涉及的核心技术进行归类和梳理,综合得出云计算的技术构成主要包括分布式存储技术、虚拟化技术、数据管理技术、不可信节点技术以及编程模式等。

随着计算技术从传统的现场模式迁移到新的云计算模式,提供的服务几乎每天都在演变。本文从技术角度归纳了云计算领域的一些基本服务:通信即服务(communication as a service, CaaS),是外包的企业通信解决方案;基础架构即服务(infrastructure as a service, IaaS),是对基础资源的虚拟化管理;平台即服务(platform as a service, PaaS),提供硬件、软件、操作系统、软件升级、安全以及其他应用程序托管等服务内容;软件即服务(software as a service, SaaS),即用户通过 Internet 托管、部署及接入,从服务供应商的服务器上获取软件服务;监测即服务(monitring as a service, MaaS),是外包的企业安全配置。

1.2 CMM/CMMI 研究

1991 年 SEI 提出软件能力成熟度模型(capability maturity model for software, CMM)^[7],该模型描述了严格定义的以及能有效测量的软件过程单元的框架,其目的是在成本和进度要求的条件下能提交高质量的软件。CMM 模型主要用于软件过程的改进,促进软件企业软件能力成熟度的提高,但它对于系统工程、集成化产品和过程开发、供应商管理等领域的过程改进存在一定不足,人们分别开发软件以外其他学科类似模型进行完善,导致了各种模型的衍生。每种模型都讨论了某一特定领域中的过程改进问题,这就造成了涉及到交叉学科过程中实践人员的混淆。

美国卡内基梅隆大学 2001 年 9 月推出的系统工程和软件工程的集成成熟度模型(capability maturity model integration, CMMI)^[8]致力于帮助企业缓解上述困境。CMMI 为改进一个组织的各种过程提供了一个单一的集成化框架,新的集成模型框架消除了各个模型的不一致性,减少了模型间的重复,增加透明度和理解,建立了一个自动的、可扩展的框架,因而能够从总体上改进组织的质量和效率。

CMMI 是以三个基本成熟度模型为基础综合而来的,这三个源模型分别针对软件工程(SW-CMM)、系统工程(SE-CMM)和集成产品开发(IPD-CMM)。SW-CMM 描述了基本的软件过程成熟度的原理和实践,用于帮助软件组织向成熟的、有纪律的软件过程方向发展;SE-CMM 集成所有系统相关的学科,能实现成功系统的跨学科的方法和手段;IPD-CMM 指在整个产品生命周期中,通过相关的利益关系方的及时协作来更好地满足顾客的需求^[9]。

1.3 从 CMM/CMMI 到云计算

目前 CMM 主要用于软件工程领域的软件工程过程改造以及评价,虽在系统工程^[10]、人力资源管理^[11]等领域也有涉及,但应用范围有限;CMMI 是在 CMM 的基础上提出的,将多种模型集成,扩大了 CMM 的应用范围。云计算系统的建立和发展是一项系统工程,SE-CMM 是 CMMI 三大源模型之一,那么将 CMM/CMMI 思想引入到云计算领域也是 SE-CMM 在云计算系统中的延续。

由于云计算是多种技术混合演进的结果,应用中成熟度参差不齐,但有大公司推动,发展极为迅速。参照王鹏^[12]对云计算领域研究热点的归纳,本文对迄今为止的云计算相关学术论进行了计量分析,得出目前云计算领域的研究热点主要集中在以下几个方面:a)云计算体系结构;b)云计算关键技术;c)云

计算编程模型;d)云计算支撑平台研究;e)云计算应用研究;f)云安全研究;g)云计算内外环境研究。从目前云计算领域的研究热点来看,云计算能力方面的研究仍然欠缺。本文以当前学术界和产业界对云计算领域的研究结果为基础,多角度探讨影响云计算能力的关键因素,希望能弥补这方面研究的不足。

2 云计算能力评价指标体系

本文借鉴了 CMM/CMMI 的思想,综合国内外对云计算领域的研究和实践,根据云计算企业发展方向各不相同的现状,结合云计算行业发展本身的特点,认为云计算能力是衡量一个企业云计算系统真实水平的尺度和指导企业云计算系统演化升级的标杆。这个指标是一个综合指标,能够将诸多衡量云计算能力的指标纳入一个相对完整的理论框架和体系之内。对这一指标进行测量能整体上了解和把握一个企业云计算系统发展的程度。云计算能力成熟度模型是在云计算能力的基础上,将诸多衡量云计算能力的指标纳入 CMM/CMMI 框架和体系之内。由于人们对云计算领域的有限认识,能够影响衡量云计算能力的新指标会不断涌现,云计算能力成熟度模型也会不断完善,以达到能够真实客观地衡量企业云计算的能力。在此基础上,参考李振等人^[13]提出的衡量物流企业能力的五大关键能力和刘腾飞^[14]提出的互联网能力成熟度评价指标体系,以及结合云计算行业本身的特点,给出了衡量云计算能力的五个关键能力:云基础能力、云技术能力、云安全能力、云环境能力和云服务能力。

2.1 云基础能力

云计算基础设施条件是云计算能力的基础,也是发挥云计算作用的必要前提。服务器及其相关设备是实现云计算的物质基础,云计算中心的建设奠定了云计算系统集成化发展的基础。齐二石等人^[15]从企业信息化过程中硬、软件方面的资金投入和使用情况,以及信息化系统具体使用人员具备的素质等角度出发,提出了企业中人的因素、现有信息化软件使用情况、信息化硬件建设情况这三项指标评估信息化基础能力。王文^[16]提出了以网络基础设施、应用基础设施等指标来评价移动商务应用基础能力。本文在综合多篇相关文献的基础上,从云计算体系架构的角度,提出了衡量云基础能力的关键指标:云基础设施、通信网络状况、云计算系统的集成度、云计算中心的耦合度及负载能力、人才资源。具体如表 1 所示。

表 1 云基础能力关键指标

云基础设施	通信网络	云计算系统的集成度	云计算中心的耦合度及负载能力	人才资源
云基础设施的投资总量、云基础设施的投资总量在云计算投资总量中所占的比重	通信网络的带宽,网络的通信质量,通信网络的种类	云计算系统进行应用集成的程度和水平	分布式云计算中心之间联系的紧密程度、云计算自动负载平衡能力	企业员工的知识水平,企业员工的规模

2.2 云技术能力

云计算涉及多种技术,这些技术在不同的应用情境下具有不同的应用需求和技术形态。参照 Lenk 等人^[6]提出的体系框架和 Youseff 等人^[5]提出的云的层次栈结构,对云计算涉及的核心技术进行归类和梳理,提出了云计算的技术构成主要包括分布式存储技术、虚拟化技术、数据管理技术、不可信节点技术

以及编程模式。本文从云计算的技术构成出发,提出了衡量云技术能力的关键指标:技术创新性、技术标准化、技术集成化、技术安全性。具体如表 2 所示。

表 2 云技术能力关键指标

技术创新性	技术标准化	技术集成化	技术安全性
与传统的互联网技术体系相比,云技术体系较之进步的程度、开发新技术的程度	通信技术标准化程度、安全技术标准化程度、编程标准化程度	云技术之间的兼容性、云技术之间的耦合度	技术脆弱性

2.3 云安全能力

美国公司 Gartner 于 2008 年发布了一份关于云计算安全风险分析,其中列举了七项安全风险,包括特权管理、数据位置、数据隔离、数据恢复、审计与法律调查、服务延续性等。王晓亚^[17]从技术角度出发,提出物理和环境安全、通信与操作管理、访问控制、系统开发与维护、业务连续性等这些来衡量信息系统安全的成熟度。乔振义^[18]认为在保障数据的有效性、高效性、机密性、完整性、可用性、合规性及可靠性前提下,可以从一般安全、操作系统安全、数据安全、网络安全、应用系统安全、防病毒安全、物理安全等方面评价信息系统安全的成熟度。本文从提高云计算系统的安全性和可用性、突出云计算特征等原则,从可靠性、可用性、可扩展性、完整性、保密性、经济性等方面,提出了云安全能力的关键指标:物理安全、通信安全、应用安全、存储安全、管理安全。具体如表 3 所示。

表 3 云安全能力关键指标

物理安全	通信安全	应用安全	存储安全	管理安全
物理设备安全、虚拟机安全、结构安全	通信完整性、通信保密性、入侵防范	软件容错、资源控制、漏洞评估	数据完整性、数据保密性、备份和恢复	访问控制、授权和审核、身份鉴别

2.4 云环境能力

云环境体现了对云计算能力成熟度产生影响的环境因素。刘腾飞^[14]提出从法律环境、社会经济环境以及对互联网的投入规模方面评价互联网环境能力。王文^[16]从政策支持、法律法规、金融支付、安全体系、信用体系、物流体系六个方面评价移动商务应用环境。本文认为,云计算是以企业为载体而存在的,那么云环境能力的评价就有必要从企业的角度出发。管理学大师罗宾斯认为,企业的外部环境由两个要素组成,即具体环境和一般环境。其中具体环境主要包括顾客、供应商、竞争者和压力集团;一般环境包括可能影响组织的广泛的经济条件、政治/法律条件、社会文化条件、人口条件、技术条件和全球条件。综合上述文献以及参照罗宾斯的组织环境,根据云计算企业的具体情况,从云计算企业的内外部出发,提出衡量云环境能力的关键指标:云计算投入规模、竞争程度、政策法律支持程度、组织文化支持程度、云计算普及程度。具体如表 4 所示。

表 4 云环境能力关键指标

云计算投入规模	竞争程度	政策法律支持程度	组织文化支持程度	云计算普及程度
从经济角度,云计算投入总量,云计算投入在企业总投资中所占比重,云计算投入在企业收益中所占比重	从竞争的角度,竞争者的数量,产业增长速度,退出壁垒	国家政策对云计算行业扶持力度,云计算相关法律法规的完善程度	员工对云计算的认可程度,员工对云计算的期望水平,员工对云计算的价值观的认可程度	每万人网民中云计算用户的数量,每万人网民中云计算潜在用户的数量

2.5 云服务能力

从用户的角度来视察云计算能力,可以称之为云服务能力。

鉴于目前的研究文献还没有涉及云服务能力方面的研究,本文借鉴了有关服务能力评价方面的研究。屈智敏^[19]构建了一个面向企业定题信息服务的质量评价指标体系,主要包括服务态度、从业人员素质、信息处理能力、市场分析能力、市场预测能力、需要的程度、信誉程度、适用的范围、风险程度、服务的效率、提供的方式等。华瑶等人^[20]利用模糊层次分析法构建了企业信息服务能力评价模型,包括企业信息资源、系统性能、满意度、基础要素、服务方式。

云计算与网格计算最大的区别在于云计算的商业化,云计算的发展离不开云计算用户的支持,因此从云计算用户的角度探讨云服务能力是有必要的;参考了有关服务能力评价方面的研究,根据云计算的关键特点,从用户的角度提出了衡量云服务能力的关键指标:用户满意度、用户忠诚度和用户投诉率。具体如表 5 所示。

表 5 云服务能力关键指标

用户满意度	用户忠诚度	用户投诉率
从服务多样性、服务灵活性、服务可靠性、服务易用性这四个方面来对用户满意度进行衡量	在网一年的云服务用户所占比重,在网两年的云服务用户所占比重,在网三年以上的云服务用户所占比重	用户对于云服务满意的人数或不满意的人数占总用户人数的比重

3 云计算能力成熟度模型

3.1 能力成熟度模型框架的比较研究

笔者认为,现有的论文在将 CMM/CMMI 思想引入他们的研究领域时构建的成熟度模型框架或多或少都存在一些问题。本文致力于将 CMM/CMMI 思想恰当地引入到云计算领域,使得云计算能力成熟度模型既保留了 CMM/CMMI 思想的精髓,又具有云计算领域自己的特色。

高新才等人^[21]将 CMM 思想引入到了农村金融领域,并提出了中国农村金融成熟度框架,但该文主要的工作集中在农村金融成熟度的测量上,缺少对农村金融成熟度模型的理论描述,没有提出一个完整的农村金融成熟度模型。李振等人^[13]借鉴了 CMM 的思想,通过研究物流企业的关键能力,构建了一个物流企业能力成熟度模型,并以关键能力作为划分物流企业成熟度的界限,却没有具体阐明衡量物流企业成熟度等级的评价指标。孙建光等人^[22]在现有的成熟度模型和指标对 IT 成熟度评估的基础上,提出了可适应性整体 IT 成熟度模型,并建立可适应性的企业级通用 IT 成熟度模型。该文构建了一个可适应性的企业通用级 IT 成熟度模型,详细阐明了评估整体 IT 成熟度的定量方法,却没有明确指出制约整体 IT 成熟度升级的关键因素。Creese 等人^[23]将 CMM 引入云计算领域,从企业应用云服务和云环境下数据保护的角度提出了云计算能力成熟度模型,并提出以企业战略、治理、过程改进、云应用、信息以及信息安全六个关键特征来界定云计算能力成熟度等级。

3.2 云计算能力成熟度模型的构建

本文在综合现有能力成熟度模型框架的基础上,参照 Creese 等人提出的云计算能力成熟度模型,保留了其 CMM 框架;又将 CMMI 引入到云计算领域,保留了其可扩展性和集成性;从云基础能力、云服务能力、云安全能力、云技术能力和云服务能力五个方面来衡量云计算能力,并以发展的观点来观察云计算领域的企业,提出了一个适用于云计算领域的云计算能力成熟度模型框架,并给出了影响达到较高云计算能力成熟度等级的关键因素和达到较高云计算能力成熟度等级需要满足

的条件。云计算能力成熟度模型如表 6 所示。

表 6 云计算能力成熟度模型

级别	云基础能力	云技术能力	云安全能力	云环境能力	云服务能力
初始级	企业运营稳定和员工个人经验关系密切,基础设施运营稳定性不确定,云计算系统集成度低	引进和开发新技术有一定的风险,现有的技术勉强能实现客户的需求	在企业网络边界和网路上监测和控制,监测物理设备的运转状况	云计算行业处于起步阶段,云计算企业数量少,缺乏相关的法律和政策,员工对云计算行业认识不足	简单的云服务,云服务种类少,响应时间不稳定
成长级	基础设施进行文档化管理,运营稳定和员工协作关系密切,发现故障可及时处理	建立新技术引入和开发的方案及制度	引入新的监测和控制技术,及时处理相关的安全问题	云计算企业数量多,大众对云计算有一定的了解,出台了一些相关的法律和政策	云服务种类增多,响应时间趋向稳定,对服务中的问题能及时处理
定型级	基础设施运营规范化管理,采用标准化流程运营,企业员工具有强烈的团队意识	新技术在定量研究的基础上得到引入和实施,新技术在定量研究的基础上得到开发和实施	在企业层面集成监测和控制技术,监测和控制自动化管理	少量的云计算企业占据了大部分的市场份额,云计算行业得到内外部的大力支持,企业采取相应的措施应对环境的变化	云服务类型按需设置,采用标准化流程处理服务问题
规范级	基础设施运营参与多部门协作,将运营成本纳入基础设施运营模型	引入新技术和开发新技术在考虑成本和收益的基础上作出恰当的选择,规范化管理这一过程	精确测量云安全的风险程度	云计算行业趋向成熟,定量测量云计算企业内外部环境水平,企业动态响应内外部环境变化	云服务质量在稳定和增加企业客户方面起关键作用,云服务类型的设置考虑客户的需求和企业成本
优化级	基础设施管理不断优化,员工积极参与组织改进,云计算系统集成化程度不断提高	关注新技术的引入和开发,不断完善评估、创新、测试、推广制度	不断完善云安全策略,降低云安全风险,不断增强自动化监测和控制能力	为了响应环境的动态变化,不断完善对应举措	云服务不断自我改进和优化

a) 初始级。该等级的云计算企业处于发展的初始阶段。这类企业的特点是:基础设施齐全,但设施运营稳定性不确定;现有的技术体系仅能实现用户需求的简单服务;具有一定的监测和控制系统,但此监测系统稳定性不确定;内外部环境在一定程度上不利于企业的成长。影响达到初始级的关键因素是企业的类型(云计算主导型或非云计算主导型)、企业云计算投入的规模、企业外部支持的组织和组织文化支持的程度。

b) 成长级。该等级的云计算企业处于发展的成长阶段。这类企业的特点是:在达到初始级要求的基础上,随着云计算行业内外环境的支持,以及较低的行业进入门槛,大量企业涌入云计算行业;企业的云服务类型呈多样化发展以及云安全能力提高,借此提高其市场占有率。影响达到成长级的关键因素是企业内外部环境的改善、云服务类型的多样化发展、云安全能力增强。达到成长级需要满足云环境能力、云服务能力、云安全能力(2级)、云基础能力、云技术能力(1级)等条件。

c) 定型级。该等级的云计算企业处于发展的定型阶段。这类企业的特点是:在达到成长级要求的基础上,云计算行业的市场趋于饱和,企业内外部环境趋于稳定;企业的基础设施运营趋向稳定,云服务类型按需设置,云计算技术体系趋向成熟,监测和控制体系趋向成熟。影响达到定型级的关键因素是企业内外部环境的稳定、云服务类型的个性化发展、云技术体系的完善。达到定型级需要满足云环境能力、云服务能力(3级)、云技术能力(2级以上)、云基础能力和云安全能力(2级)等条件。

d) 规范级。该等级的云计算企业处于发展的规范阶段。这类企业的特点是:在达到定型级要求的基础上,企业监测和控制体系趋向成熟,能够动态处理实时故障;云计算相关技术实现标准化,云技术实现的云服务很好地满足用户的需求;企业能够动态响应外界环境的变化,并采取相应的应对措施。影响达到规范级的关键因素是云安全体系的健全、云技术体系的稳定、云环境变化的有效应对。达到规范级需要满足云安全能力、云技术能力、云环境能力(3级以上)、云基础能力、云服务能力(3级)等条件。

e) 优化级。该等级的云计算企业处于发展的优化阶段。

这类企业的特点:在达到规范级要求的基础上,企业在技术上追求不断创新,以降低成本和满足用户新的需求;云服务质量也在不断提高,满足用户的需求;有效预测和应对环境变化带来的风险。影响达到优化级的关键因素是云技术的创新、云服务质量的不断提高、云环境变化的有效预测。达到优化级需要满足云技术能力、云服务能力、云环境能力(4级以上)、云基础能力、云安全能力(3级以上)等条件。

4 云计算能力成熟度模型的应用探讨

云计算能力成熟度模型的价值在于可以将其作为提升企业云计算能力的向导,也可以作为评估企业云计算能力的标准。云计算能力成熟度模型的特点之一就是其通用性,适用于不同的评估主体;他们既可以是云计算企业自身,也可以是和云计算企业关系密切的供应商,也可以是第三方的评估机构。对于不同的评估主体,其评估云计算能力的目的不同,那么他们采取的评估侧重点也不一致。

从云计算企业自身来看,云计算能力评估的目的在于认清企业云计算能力的真实水平,以期寻求提升企业云计算能力的关键路径。云计算企业在评估云计算能力时,会侧重于云基础能力、云技术能力、云安全能力、云环境能力、云服务能力这五个方面,这样才能完整地评估出企业真实的云计算能力。从供应商的角度来看,云计算能力评估的目的在于识别出云计算企业和其核心利益所在之处。那么,供应商在评估企业云计算能力时,会侧重于与供应商关系密切的云基础能力和云技术能力,云基础能力决定了云计算企业对基础设备的需求量,云技术能力决定了云计算行业技术标准化程度,直接影响了供应商生产的产品的适应性。从第三方评估机构的角度来看,云计算能力评估的目的在于评估出云计算企业的市场占用能力。那么,第三方在评估云计算能力时,会侧重于云安全能力和云服务能力,它们共同决定了用户在选择云计算企业时的偏好。

5 结束语

笔者建议在不同客观主体使用云计算能力成熟度来评估

云计算企业时,可以从自身和云计算企业联系密切之处出发,以期能灵活地评估企业云计算能力。此外,还有一些问题需要笔者进一步研究:a)利用AHP、模糊综合评价法、灰色系统等定量研究方法评价企业的云计算能力;b)本模型中,衡量云计算能力的五种关键能力不可避免地带有重复和交叉指标,之后需要进行深入的分析,尽可能减小重复因素对评估结果的影响;c)云计算领域的研究目前还处于起步阶段,云计算在国内外应用的成熟案例还很少,这给文献研究和数据收集带来了一定的困难,以致本文评价指标体系的构建带有一定的主观性。随着云计算领域的不断发展,在后续研究之中将提高指标体系的客观性。

参考文献:

- [1] HEWITT C. ORGs for scalable, robust, privacy-friendly client cloud computing[J]. *Internet Computing*, 2008, 12(5): 96-99.
 - [2] WANG Li-zhe, TAO Jie, KUNZE M, et al. Scientific cloud computing [C]//Proc of the 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications. 2008:825-830.
 - [3] BUYYA R, YEO C S, VENUGOPA S. Market-oriented cloud computing: vision, hype, and reality for delivering IT services as computing utilities [C]//Proc of the 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications. 2008:5-13.
 - [4] ARMBRUST M, FOX A, GRIFFITH R. A view of cloud computing [J]. *Communications of the ACM*, 2010, 53(4): 50-58.
 - [5] YOUSEFF L, BUTRICO M, DA SILVA D. Toward a unified ontology of cloud computing [C]//Proc of Grid Computing Environments Workshop. 2008:42-51.
 - [6] LENK A, KLEMS M, NIMIS J, et al. What's inside the cloud? An architectural map of the cloud landscape [C]//Proc of ICSE Workshop on Software Engineering Challenges of Cloud Computing. 2009: 23-31.
 - [7] 邓景毅, 叶世绮, 郑欣. 软件成熟度模型(CMM)发展综述[J]. *计算机应用研究*, 2002, 19(7): 6-9.
 - [8] 万江平, 孔学东, 杨建梅. 集成能力成熟度模型(CMMI)的研究[J]. *计算机应用研究*, 2001, 18(10): 10-13.
 - [9] 陈南南. 能力成熟度模型集成的研究与应用[D]. 厦门: 厦门大学, 2006.
 - [10] 钱钢, 达庆利. 基于SSE-CMM模型的信息系统安全工程管理[J]. *东南大学学报: 自然科学版*, 2002, 32(1): 32-36.
 - [11] 万江平, 杨建梅, 万军. 软件人员能力成熟度模型及其评估框架[J]. *计算机应用研究*, 2001, 18(1): 16-18.
 - [12] 王鹏. 云计算的关键技术和应用实例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
 - [13] 李振, 周国华, 林晶晶. 物流企业能力成熟度模型研究[J]. *科技管理研究*, 2007(4): 96-97.
 - [14] 刘腾飞. 基于互联网能力成熟度模型的中美互联网治理研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2009.
 - [15] 齐二石, 王谦, 金卓君, 等. ERP实施能力测度模型设计与研究[J]. *工业工程*, 2004, 7(1): 1-5.
 - [16] 王文. 湖北省移动商务成熟度评价研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
 - [17] 王晓亚. ISMS信息安全管理体成熟度的应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
 - [18] 乔振义. WT公司信息系统风险管理的研究[D]. 北京: 对外经济贸易大学, 2007.
 - [19] 屈智敏. 企业信息服务的质量评估[J]. *情报杂志*, 2001, 20(12): 17-18.
 - [20] 华瑶, 俞明传. 基于模糊层次分析法的企业信息服务能力综合评价[J]. *情报科学*, 2009, 27(9): 1390-1393.
 - [21] 高新才, 李阳. 中国农村金融成熟度测量与研究[J]. *南京师大学报: 社会科学版*, 2009(1): 64-69.
 - [22] 孙建光, 陈燕, 马永刚. 可适应性企业级整体IT成熟度模型及其评价[J]. *计算机应用研究*, 2008, 25(10): 3002-3005.
 - [23] CREESE S, HOPKINS P, PEARSON S, et al. Data protection-aware design for cloud services [C]//Lecture Notes in Computer Science, vol 5931. 2009: 119-130.
-
- (上接第74页)
- [2] BERNARD M. Applying radial basis functions [J]. *IEEE Signals Processing Magazine*, 1996, 13(2): 50-65.
 - [3] 王承, 谢永乐. 基于径向基函数神经网络的模拟/混合电路故障诊断[J]. *电路与系统学报*, 2007, 12(2): 66-68.
 - [4] DENG Ying, HE Yi-gang, SUN Yi-chuang. Fault diagnosis of analog circuits with tolerances using artificial neural networks [C]//Proc of IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems. 2000: 292-295.
 - [5] CHEN S, WU Y, LUCK B L. Combined genetic algorithm optimization and regularized orthogonal least squares learning for radial basis function network [J]. *IEEE Trans on Neural Networks*, 1999, 10(5): 1239-1243.
 - [6] CATELANI M, FORT A. Soft fault detection and isolation in analog circuits: some results and a comparison between a fuzzy approach and radial basis function networks [J]. *IEEE Trans on Instrumentation and Measurement*, 2002, 51(2): 196-202.
 - [7] 彭敏放, 沈美娥, 贺建颀, 等. 容差电路软故障检测与定位[J]. *电工技术学报*, 2009, 24(3): 222-228.
 - [8] MARK J L O. Regularization in the selection of radial basis function centers [J]. *Neural Computation*, 1995, 7(3): 606-623.
 - [9] 崔海青, 刘希玉. 基于粒子群算法的RBF网络参数优化算法[J]. *计算机技术与发展*, 2009, 19(12): 117-119.
 - [10] 左磊, 侯立刚, 张旺, 等. 基于粒子群—支持向量机的模拟电路故障诊断[J]. *系统工程与电子技术*, 2010, 32(7): 1553-1556.
 - [11] 操建华. 基于粒子群优化径向基神经网络在模拟电路故障诊断中的应用[J]. *制造业自动化*, 2010, 32(8): 92-94.
 - [12] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization [C]//Proc of IEEE International Conference on Neural Networks. Piscataway: IEEE Press, 1995: 1942-1948.
 - [13] CLERC M, KENNEDY J. The particle swarm: explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space [J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 2002, 6(1): 58-73.
 - [14] Van den BERG F, ENGELBRECHT A P. Cooperative learning in neural networks using particle swarm optimizers [J]. *South African Computer*, 2001, 26(6): 84-90.
 - [15] 李红利, 张晓彤, 兰立柱, 等. 基于遗传算法的RBF神经网络的优化设计方法[J]. *计算机仿真*, 2003, 20(11): 67-69.
 - [16] 李晓华, 姚舜才. 基于小波包和支持向量机的故障诊断方法研究[J]. *电子测试*, 2010(4): 31-34.
 - [17] 王佩丽, 彭敏放, 杨易旻, 等. 应用模糊最优小波包和LS-SVM的模拟电路故障诊断[J]. *仪器仪表学报*, 2010, 31(6): 1282-1288.
 - [18] HE Yi-gang, TAN Yang-hong, SUN Yi-chuang. Wavelet neural network approach for fault diagnosis of analogue circuit [J]. *IEEE Proceedings of Circuit Devices and Systems*, 2004, 151(4): 379-384.
 - [19] 林美琴, 陈艳峰. 基于小波包分析与RBF神经网络的模拟电路故障诊断[J]. *科学技术与工程*, 2010, 10(8): 1996-1998.