

文章编号:1007-5321(2021)01-0079-07

DOI:10.13190/j.jbupt.2019-101

基于层次分析法的云服务可用性评价方法

周 平¹, 王泽胜², 殷 波³, 郭少勇¹

(1. 北京邮电大学 网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876;

2. 中国电子技术标准化研究院 云计算标准与应用工业和信息化部重点实验室, 北京 100176;

3. 清华大学 信息技术研究院, 北京 100084)

摘要: 面向云服务可用性评价的多准则决策问题, 提出了一种基于层次分析法(AHP)的云服务可用性评价方法。首先, 梳理了近年来国际标准化组织和国内外学者针对云服务可用性研究的相关成果; 其次, 结合云服务可用性的各种特性和子特性, 以及企业的最佳实践, 提出了度量方法; 最后, 将 AHP 引入云服务可用性评价, 保证评价结果的科学性。实验结果表明, 通过对影响云服务可用性的特性和子特性进行层次划分, 以及对各类影响因素度量方法的合理设置, 有效地提高了云服务可用性评价的标准化水平和准确性。

关 键 词: 云服务; 可用性; 层次分析法

中图分类号: TN911.22

文献标志码: A

An Evaluation Method for Cloud Service Usability Based on Analytic Hierarchy Process

ZHOU Ping¹, WANG Ze-sheng², YIN Bo³, GUO Shao-yong¹

(1. State Key Laboratory of Networking and Switching, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. Cloud Computing Standard and Application Key Laboratory Ministry of Industry and Information Technology, China Electronics Standardization Institute, Beijing 100176, China;

3. Research Institute of Information Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: To solve the problem of multi-criteria decision making for usability evaluation of cloud service, an evaluation method for cloud service usability based on analytic hierarchy process(AHP) is proposed. Firstly, research achievements related to cloud service usability of international organizations for standardization and scholars at home and abroad are sorted and analyzed. Then, measurements of characteristics and subcharacteristics are proposed considering the definitions of them and the industry best practices. Finally, AHP is introduced into the evaluation process to ensure the scientificity of the evaluation result. Experiments show that the method can be used to improve the standard level and accuracy of usability evaluation of cloud service by hierarchical division of characteristics /subcharacteristics and relative weight setting.

Key words: cloud service; usability; analytic hierarchical process

随着上云行动的快速推进, 云计算逐步成为信 息化建设的主流, 基于云计算的 IT 服务模式占据了

收稿日期: 2019-05-31

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFB1000200)

作者简介: 周 平(1977—), 男, 高级工程师.

通信作者: 王泽胜(1987—), 男, 工程师, E-mail:wangzsh@cesi.cn.

市场主导地位,选择云服务支撑业务发展的消费行为日益增多.然而快速、高效地选择满足服务质量要求的云服务是当前云计算普及过程中面临的主要挑战之一.

服务可度量是云计算的 5 个基本特征之一^[1].对用户而言,服务可度量既能支持实现云服务使用的成本可控,又可以对各种云服务质量进行客观对比,同时还有助于推动已有应用和数据快速向云迁移.对于云服务提供商而言,提供可度量的云服务是改进服务质量、提升用户满意度的重要手段.因此,实现云服务的可度量已成为学术界和产业界关注的重点.

从现阶段的理论研究和工程实践来看,度量云服务的主要方法有建立云服务质量模型^[2-3]、度量模型^[4-5]和度量指标体系^[6]等,同时度量内容正在从完整性向专业化转变,例如,Brian 等^[7]提出了一种云可用性框架.云服务可用性是在指定的使用环境中,用户使用云服务实现预期目标的有效性、效率和满意度的程度^[8].显然,可用性是决定云服务质量水平的重要因素.然而,学术界和产业界尚未提出通用的云服务可用性评价方法.

综上所述,结合前期研究基础^[3],以及 IT 服务质量模型中的可用性及其子特性^[8],提出了一种云服务评价方法.相较于已有的研究成果,该方法的创新之处主要在于:

- 1)建立了体系化和层次化的云服务可用性框架,确定云服务可用性评价的方向和具体内容.
- 2)根据云服务可用性的特性和子特性的主客观特征,建立了定量和定性的度量指标体系和方法.
- 3)针对云服务可用性评价的多准则决策问题(MCDM,multi-criteria decision making),利用层次分析法(AHP,analytic hierarchy process),提出了云服务可用性评价方法.

1 相关工作

由于部署模式和获取方式不同,评价传统桌面计算环境服务的可用性方法不适用于云服务,需要重新开发针对云服务可用性的评价方法^[6].

目前,基于质量模型开展云服务可用性评价是一种通用的方法.文献[8]规定了 IT 服务质量模型,将可用性划分为适宜性识别、可学习性和礼貌等 6 个子特性.美国国家标准与技术研究院发布了云

可用性框架和云服务度量描述^[4,7],提出了云服务度量模型,为云服务可用性度量提供了方法.云服务度量指标联盟提出了云服务度量指标体系和对比排名框架^[5-6],将云服务可用性定义为易学习和易使用,并划分为可学习性、透明性和可理解性等 7 个子特性.

除基于质量模型的方法外,产业界常用云服务可用时间比例作为可用性的评价指标,例如:阿里云服务的可用性计算公式为:(服务周期总分钟数 - 服务不可用分钟数)/服务周期总分钟数 × 100%.学术界提出节约资源和高效配置资源的云服务可用性保障或评价方法^[9],以及针对云计算系统的各类测试^[10-13].

以上研究的局限主要体现在两方面:一是可用性的度量指标体系不一致且没有具体的评价方法,二是仅将一段时间内的可用时间比例作为可用性的度量指标,较为片面.

2 云服务可用性框架及其度量

根据前期的研究基础,结合云计算领域的最新国际标准和云服务质量评价的研究成果,将云服务可用性划分为功能适宜、专业化、人性化、可信和价值 5 个特性,以及相互关联、主客观相结合的系列子特性.这些特性和子特性共同构成了层次化、结构化的云服务可用性框架,直接反应了用户使用云服务时,对其有效性、效率和满意度的评价,如图 1 所示.

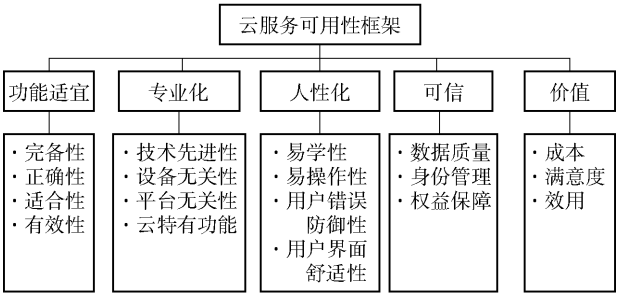


图 1 云服务可用性框架

2.1 功能适宜度量

云服务功能适宜是在指定环境下使用云服务时,提供的功能满足规定的和隐含的需求的程度.选择云服务的前提是功能满足应用需求,为了有效度量云服务功能,结合文献[14],将云服务功能进一步划分为完备性、正确性、适合性和有效性 4 个客

观的子特性. 各个子特性的度量方法如下.

$$f_1 = 1 - \xi^l / \xi^r \quad (1)$$

其中: f_1 反映了云服务功能集覆盖所有规定的任务和用户目标的程度, ξ^l 为云服务缺少的功能数量, ξ^r 为指定的功能数量.

$$f_2 = 1 - F^o / F^r \quad (2)$$

其中: f_2 反映了云服务的功能提供所需精确度的正确结果的程度, F^o 为云服务不正确的功能数量, F^r 为需正确提供的功能数量.

$$f_3 = \sum_{i=1}^N A_i / N \quad (3)$$

其中: f_3 反映了云服务的功能帮助实现特定任务和目标的程度; A_i 为使用云服务达到目标 i 时的功能适合性, $A_i = 1 - X/B$, X 为达到目标 i 时缺少或不适合的功能数, B 为达到目标 i 所需要的功能数; N 为要实现目标的数量.

$$f_4 = \frac{T - T'}{T} \quad (4)$$

其中: f_4 反映了在指定的使用环境下和规定的使用时间周期内, 云服务功能可有效使用的程度; T 表示一定时间周期; T' 表示云服务的不可用时间数 (一般以分钟为单位).

2.2 专业化度量

专业化是指云服务具备云计算系统特有功能的程度, 以及云服务所使用技术的先进性, 并保证云服务的使用与设备和平台无关. 专业化是保障云服务质量特别是提升用户体验的基础, 进一步划分为技术先进性、设备无关性、平台无关性和云特有功能 4 个主观和客观相结合的子特性. 各个子特性的度量方法如下:

$$s_1 = \frac{c}{3} \quad (5)$$

其中: c 的取值按照 6 个月、12 个月、12 ~ 18 个月、18 ~ 24 个月以及 24 个月以上更新云服务所采用的技术, 依次为 5, 4, 3, 2 和 1. s_1 的结果反映了云服务采用最新技术的程度.

s_2, s_3, s_4 分别代表设备无关性、平台无关性和云特有功能, 取值均为 0 或 1, 即满足设备无关性、平台无关性和提供资源池化、快速弹性、可计量等^[1]云特有功能的云服务时取值为 1, 其他情况取值为 0.

2.3 人性化度量

人性化是指用户使用云服务时的主观体验和客

观感受, 其度量结果通常受用户使用云服务的经验影响. 人性化进一步划分为易学性、易操作性、用户错误防御性和用户界面舒适性. 各个子特性的度量方法如下.

$$p_1 = \sum_{j=1}^3 w_j^l \frac{L_j^o}{L_j^r} \quad (6)$$

其中: L_j^o ($j=1, 2, 3$) 分别代表用户文档中按要求描述的功能数量、给出原因的错误信息数量和用户理解的界面数量; L_j^r 分别代表要求描述的功能数量、错误信息数量和用户界面数量; w_j^l 为针对用户文档、错误信息和用户界面进行度量时赋予的权重, 其和为 1.

$$p_2 = \sum_{m=1}^4 w_m^\beta \frac{\beta_m^o}{\beta_m^r} \quad (7)$$

其中: β_m^o ($m=1, 2, 3, 4, 5$) 分别代表一致的特定交互式任务数量、为用户使用方便而提供的可被定制功能数量、操作规程和界面的数量、具有状态监控能力的功能数量, 以及可由所有适当的输入方法启动的任务数量; β_m^r 分别代表需要一致的交互任务数量、用户能够受益的定制功能数量、操作规程和界面的数量、期望受益于监控能力的功能数量, 以及系统支持的任务数量; w_m^β 为特定交互式任务数量、为用户使用方便而提供的可被定制功能数量、操作规程和界面的数量、具有状态监控能力的功能数量, 以及可由所有适当的输入方法启动的任务数量的权重.

$$p_3 = \sum_{n=1}^3 w_n^E \frac{E_n^o}{E_n^r} \quad (8)$$

其中: E_n^o ($n=1, 2, 3$) 分别代表实际能防止误操作的数量、纠正的用户误操作数量和恢复的用户误操作数量; E_n^r 分别代表可防止的误操作数量、检测到的误操作数量和可能发生的误操作数量; w_n^E 为针对防止误操作、误操作纠正率和误操作恢复率进行度量时赋予的权重, 其和为 1.

$$p_4 = \frac{\tau_a}{\tau_b} \quad (9)$$

其中: τ_a 为外观使用户满意的用户界面数量, τ_b 为用户界面数量.

2.4 可信度量

可信是用户对所选择的云服务的信任程度, 直接决定了云服务是否值得使用. 可信进一步划分为数据质量 (包含隐私保护)、身份管理和权益保障 3 个子特性. 各个子特性的度量方法参照数据质量度

量国际标准 ISO/IEC 25024 提出.

$$\tau_{\varepsilon} = \frac{D_{\varepsilon}^o}{D_{\varepsilon}^r}$$

(10)

其中: D_{ε}^o 为云服务提供满足要求的数据质量特性的数量,例如完整性、一致性、可追溯性等, D_{ε}^r 为规定的数据质量特性的数量.

身份管理的度量参照式(10),权益保障的取值为 0 或 1,即根据云服务提供方有无权益保障方案取值.

2.5 价值度量

价值是用户使用云服务达到预期目标的程度,直接反应了云服务支撑业务发展的最终效果. 价值进一步划分为成本、满意度和效用 3 个子特性. 各个子特性的度量方法如下.

$$v_1 = \begin{cases} M^c, & \text{提供基础设施服务} \\ S^c, & \text{提供平台服务或软件服务} \end{cases}$$

(11)

其中: M^c 代表单个虚拟机的价格,主要针对基础设施服务; S^c 代表单个应用的每个许可证的价格,主要针对平台服务或软件服务.

$$v_2 = \frac{1}{\lambda} \sum_{\gamma=1}^{\lambda} \phi_{\gamma}$$

(12)

其中 $\phi_{\gamma}(\gamma \in [1, \lambda])$ 为用户 λ 对某个使用的云服务的满意度.

$$v_3 = u^o / u^e$$

(13)

其中: u^e 为预期的效用数量,例如实现大数据应用; u^o 为实际取得的效用数量.

3 基于 AHP 的云服务可用性评价

3.1 云服务可用性评价的层次结构

根据上述定义的可用性指标,需要进一步设计评价方法实现对多种云服务的可用性评价. 提出了一种 AHP,能够根据用户需求,通过设置不同的指标权重,对多种云服务进行可用性评价,为用户提供可以量化的云服务可用性评价建议.

根据前文定义的可用性特性和子特性指标,设置了 2 层指标架构,如图 2 所示. 图 2 中的第一层指标(特性指标)是为了找到满足客户所有必要需求的云服务目录,第二层指标(子特性指标)为云服务质量的参数(重要的和次要的),底层的 $\varphi_1, \varphi_2, \dots$,包含了所有达到最低要求的备选云服务的值. 云服务的可用性评价指标,分为定性指标和定量指标 2 种. 其中,定性指标指的是不能被量化,

而且大多数情况下根据用户体验可以改变指标参数的指标,例如用户 QoE 指标. 定量指标是指能够通过软件或硬件检测到实际值的指标,例如功能适宜指标. 所提方法中的云服务可用性评价指标均为定量指标.

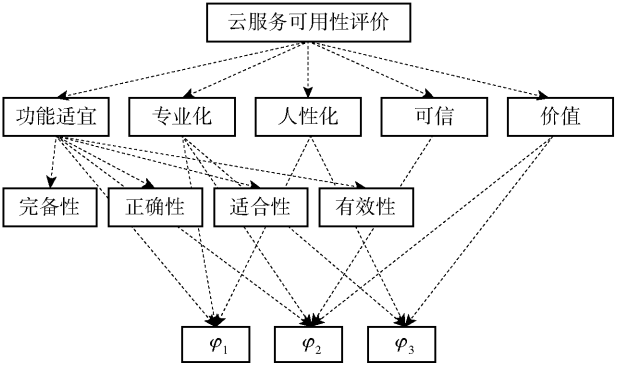


图 2 可用性评价层次结构

此外,上述的特性和子特性指标能够表示通用的云服务,某些特殊指标能够表示特殊应用和特殊云服务. 其中,软件服务和平台服务度量标准较为不统一,对用户而言,难以通过指标将其服务进行量化. 因此,主要针对基础设施云服务进行可用性评价.

3.2 多类型特性的相对权重计算

传统的 AHP 方法,是将各影响因素按照重要性划分为 1~9 个等级,并进行比较. 由于云服务可用性评价中涉及的特性和子特性较多,且度量方法多样. 因此,将其进行分类,并针对各类特性和子特性构造相应的对比策略.

为了比较多种云服务的可用性,需要对评价的特性和子特性进行权重赋值,将采用 2 种方法对相对权重进行赋值.

1) 用户指派权重

由用户对各种特性和子特性进行权重赋值. 用户可以根据各自的实际需求进行权重赋值,也可以自定义各个特性或子特性之间的关联程度. 具体的权重分配比例,如表 1 所示.

表 1 指标权重分配表

重要程度描述	权重
普通	(1,2)
相对重要	(3,4,5)
重要	(6,7,8)
非常重要	9

首先将特性按照重要程度划分为 4 个等级,然后为不同的等级设置权重区间,从而实现各等级内的特性重要性的进一步细分. 非常重要类特性具有不可替代性,参照传统 AHP 方法等级划分,非常重要类特性的权重统一设置为 9;相对重要和重要类特性数量通常较多,为了增加区分度,分别取 3 个可选值作为权重.

2) 用户任意分配权重

若采用任意分配权重的方法,用户不再对各特性和子特性进行统一的等级划分,而是根据各自的偏好直接定义各个指标的权重,灵活性更高,但随机性和不确定性也会随之增加,统筹规划性较弱. 该方法得到的权重值相加总和不一定为 1. 在该权重分配情况下,AHP 需要将各个权重进行归一化处理.

3.3 基于参数值的云服务排名方法

通过对多种云服务进行实际测量得到各个特性和子特性的实际测量值,云服务之间的可用性比较需要设计统一的标准进行定量比较. 然而,云服务可用性的评价内容多样,某些特性或子特性无法用量化的数据进行比较. 例如:云服务安全等级、伸缩性等,二者维度不同,进行比较时需要定义统一的标准进行量化处理.

设计了一种数值处理方法,对特性或子特性进行评价. 具体方法如下.

假设 ω_x^δ 是用户 x 为特性或子特性 δ 赋予的权重, δ_a 和 δ_b 分别表示特性 a 和 b 对应的值. φ_μ 和 φ_κ 分别表示云服务 μ 和云服务 κ ,那么 $\frac{\varphi_\mu}{\varphi_\kappa}$ 表示云服务 μ 和云服务 κ 的排名关系.

所提基于 AHP 的云服务可用性评价方法,分为 3 步.

第一步,确定待评价的云服务是以相同的属性和评价单位进行比较,例如,在对虚拟机性能进行比较时,需要分别针对虚拟机的 CPU、内存和存储性能以及价格进行比较;在对数据传输质量进行比较时,需要针对传输某个固定数据流所需要的时间和成本进行比较.

对云服务可用性的评价数学模型为

$$\frac{\varphi_\mu}{\varphi_\kappa} = \begin{cases} 1, & \delta_a = \delta_b \\ \omega_x^\delta, & \delta_a = 1, \delta_b = 0 \\ \frac{1}{\omega_x^\delta}, & \delta_a = 0, \delta_b = 1 \end{cases} \quad (14)$$

第二步,根据上述评价数学模型,建立云服务子特性评价的 N 阶矩阵,提取出该矩阵的特征向量,作为当前子特性的评价结果.

第三步,采用 AHP,对云服务可用性的子特性进行层次化处理,综合考虑用户对云服务可用性及其特性分配的权重值,通过矩阵变换得到多种云服务之间的可用性评价结果.

4 实验结果与分析

为验证所提方法的有效性,在国内外云服务市场占有率排名前 20 的云服务提供商中随机抽取 3 家进行仿真实验,以保证数据规模等达到行业主流的要求. 将选取的 3 家云服务提供商分别记为 φ_1, φ_2 和 φ_3 ,对提供服务的可用性进行了数据采集,结合 3 家企业与用户签订的云服务级别协议中的服务内容、权责说明等,将用户对 3 个云服务可用性的特性权重进行了随机赋值(实际操作中,用户可根据自身业务需求对权重进行针对性设置). 具体的特性和子特性指标、测试数据、随机权重如表 2 所示.

表 2 实验用例

特性(权重)	子特性(权重)	φ_1	φ_2	φ_3
功能适宜(0.4)	完备性(0.4)	1.0	0.9	0.8
	正确性(0.2)	0.8	0.8	0.7
	适宜性(0.2)	1.0	0.7	0.6
	有效性(0.2)	0.99	0.9	0.99
专业化(0.1)	技术先进性(0.2)	5	4	4
	设备无关性(0.2)	1	1	1
	平台无关性(0.3)	1	1	1
	云特有功能(0.3)	1	1	1
人性化(0.1)	易学性(0.3)	0.6	0.7	0.8
	易操作性(0.3)	0.7	0.8	0.9
	用户错误防御性(0.2)	0.7	0.6	0.8
	用户界面舒适性(0.2)	0.6	0.6	0.7
可信(0.2)	数据质量(0.4)	0.7	0.8	0.7
	身份管理(0.2)	0.8	0.8	0.8
	权益保障(0.4)	1.0	1.0	1.0
价值(0.2)	成本(0.3)	5	3	3
	满意度(0.4)	8	7	6
	效用(0.3)	0.9	0.7	0.8

以表 2 中的价值特性为例,根据云服务属性的

评级模型,得出3种云服务的价值特性中成本子特性之间关系的3阶矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 1, & 5/3, & 5/3 \\ 3/5, & 1, & 3/3 \\ 3/5, & 3/3, & 1 \end{bmatrix}$$

然后,根据该3阶矩阵可以得出其特征向量为: $R_1 = [1.43, 1.00, 1.00]$. 依次类推得到价值特性满意度子特性的特征向量 R_2 和价值特性效用子特性的特征向量 R_3 依次为: $R_2 = [1.43, 1.00, 0.85]$, $R_3 = [1.20, 1.00, 0.94]$.

因此,得出价值特性3个子特性的特征向量. 同时,根据各个子特性的权重,可以得出价值特性的特征向量为

$$H_5 = \begin{bmatrix} 1.43, & 1.43, & 1.20 \\ 1.00, & 1.00, & 1.00 \\ 1.00, & 0.85, & 0.94 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.4 \\ 0.3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.361 \\ 1.000 \\ 0.922 \end{bmatrix}$$

以此类推,得出其他4项云服务可用性特性的特征向量依次为

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0.987 \\ 0.900 \\ 0.816 \end{bmatrix}, H_2 = \begin{bmatrix} 1.000 \\ 1.120 \\ 1.280 \end{bmatrix},$$

$$H_3 = \begin{bmatrix} 0.953 \\ 1.000 \\ 1.178 \end{bmatrix}, H_4 = \begin{bmatrix} 0.948 \\ 1.000 \\ 0.948 \end{bmatrix}$$

得出,3个云服务提供商之间的可用性为

$$\begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 0.987, & 1.000, & 0.953, & 0.948, & 1.361 \\ 0.900, & 1.120, & 1.000, & 1.000, & 1.000 \\ 0.816, & 1.280, & 1.178, & 0.948, & 0.922 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.2 \\ 0.2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0519 \\ 0.9720 \\ 0.9462 \end{bmatrix}$$

因此,推荐云服务商的云服务可用性依次为 $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$, 即针对当前特定需求的用户,云服务提供商的推荐顺序依次为 φ_1, φ_2 和 φ_3 . 由于当前业界缺乏针对云服务可用性的统一评价,因此将随机选取的3家云服务提供商的市场占有率以及其获得的云服务能力评估结果作为参考依据. 实

验结果表明,应用所提方法得到的云服务可用性评价结果与市场占有率及云服务能力测评结果基本保持一致.

5 结束语

针对当前云服务可用性复杂多样的特性,在研究云服务评价的基础上,首先完成了云服务可用性评价的标准化工作,对云服务可用性进行了特征梳理和标准化提取,然后提出了基于AHP的云服务可用性评价方法. 该方法能够根据用户的多样化需求,提供多种云服务可用性的量化评价,更有效地满足个性化的云服务可用性需求. 通过对目前主流的云服务可用性进行数据测试和实验验证表明,所提方法能够在较低的时间复杂度内,提供更加有效的云服务可用性评价方案.

参考文献:

- [1] ISO/IEC JTC1 SC38. Information technology-cloud computing-overview and vocabulary: ISO/IEC 17788—2014 [S]. London: BSI Standards Limited, 2014: 1-10.
- [2] Zheng Xianrong, Martin Patrick, Brohman Kathryn, et al. Cloudqual: a quality model for cloud services [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014, 10 (2): 1527-1536.
- [3] Zhou Ping, Wang Zhipeng, Li Wenjing, et al. Quality model of cloud service [C] // 2015 IEEE 17th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC). New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2015: 1418-1423.
- [4] Frederic J de Vaulx, Eric D Simmon, Robert B Bohn. Cloud computing service metrics description [R/OL]. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2018 (2018-04-24) [2019-05-25]. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.500-307.
- [5] Saurabh Kumar Garg, Steve Versteer, Rajkumar Buyya. SMICloud: a framework for comparing and ranking cloud services [C] // 2011 4th IEEE International Conference on Utility and Cloud Computing. Melbourne: IEEE Computer Society, 2011: 210-218.
- [6] Siegel J, Perdue J. Cloud services measures for global use: the service measurement index (SMI) [C] // Service Research & Innovation Institute (SRII) Global Conference. San Jose: IEEE Computer Society, 2012: 411-415.
- [7] Brian Stanton, Mary Theofanos, Karuna P Joshi. Frame-

- work for cloud usability[C] // Lecture Notes in Computer Science(including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Los Angeles: Springer Verlag, 2015: 664-671.
- [8] ISO/IEC JTC1 SC7. Information technology-systems and software quality requirements and evaluation(SQuaRE)-service quality models: ISO/IEC TS 25011—2017[S]. London: BSI Standards Limited, 2017: 1-30.
- [9] 沈时军, 刘欣然, 张鸿, 等. 云计算中的服务可用性保障机制[J]. 通信学报, 2014, 25(2): 202-206.
Shen Shijun, Liu Xinran, Zhang Hong. et al. Guaranteeing service availability in cloud computing[J]. Journal on Communications, 2014, 25(2): 202-206.
- [10] Gao Jerry, Bai Xiaoying, Wei-Tek Tsai. Cloud testing-issues, challenges, needs and practice [J]. Software Engineering, 2011, 1(1): 9-23.
- [11] Tarun Kumawat, Naresh Kumar Marwal, Shritosh Kumar, et al. A survey report on cloud computing testing environment[J]. International Journal of Computing and Technology, 2014, 1(11): 577-581.
- [12] Sanjay Ram M. Cloud computing testing background and challenges based on ITS environment [J]. Journal of Global Research in Computer Science, 2013, 4(10): 7-12.
- [13] Gao Jerry, Bai Xiaoying, W T Tsai, et al. SaaS testing on clouds-Issues, challenges, and needs [C] // Proceedings-2013 IEEE 7th International Symposium on Service-Oriented System Engineering, SOSE 2013. Redwood City: IEEE Computer Society, 2013: 409-415.
- [14] ISO/IEC JTC1 SC7. Systems and software engineering-system and software product quality requirements and evaluation(SQuaRE)-measurement of system and software product quality: ISO/IEC 25023—2016[S]. London: BSI Standards Limited, 2016: 1-45.