

区间数多属性决策的云服务信任评估方法

武小年^{1,2}, 王青芝¹, 张楚芸², 叶志博³

¹(桂林电子科技大学 广西无线宽带通信与信号处理重点实验室 广西 桂林 541004)

²(桂林电子科技大学 广西可信软件重点实验室 广西 桂林 541004)

³(桂林电子科技大学 广西高校云计算与复杂系统重点实验室 广西 桂林 541004)

E-mail: xnwu@guet.edu.cn

摘要: 针对云服务信任评估问题, 提出一种区间数多属性决策的云服务信任评估方法。该方法先将云服务评估问题层次化, 形成一个包括目标层、服务层和指标层的多层次结构模型; 对于服务质量指标层, 监测云服务运行的实时指标数据并用区间数表示, 构建决策矩阵; 基于不同层次间指标影响程度的不同, 计算云服务层和目标层的指标权重体系; 最后, 结合决策矩阵和权重体系进行云服务综合评价和优劣排序。实验结果表明, 该方法能够客观、有效地对云服务信任做出评估, 避免了信任评估中常见的滞后、串谋和恶意评价问题。

关键词: 云服务; 信任评估; 多属性决策; 区间数; 服务质量

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-4220(2018)07-1492-06

Trust Evaluation Method of Cloud Service Based on Interval Multiple Attribute Decision Making

WU Xiao-nian^{1,2}, WANG Qing-zhi¹, ZHANG Chu-yun², YE Zhi-bo³

¹(Guangxi Wireless Broadband Communication and Signal Processing Key Laboratory, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

²(Guangxi Key Laboratory of Trusted Software, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

³(Guangxi Colleges Key Laboratory of Cloud Computing and Complex Systems, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Aiming at the problem of trust evaluation for cloud services, a cloud service trust evaluation method based on interval multiple attribute decision making is proposed. In this method, the cloud service evaluation is hierarchically structured to form a multi-level structure model, which includes target layer, service layer and index layer. In the QoS index layer, the real-time index data of cloud services are monitored and collected and expressed by interval numbers, and a decision matrix is constructed. Based on the different influence degree of indicators between different levels, the index weight system of cloud service layer and target layer is calculated. Finally, combined with the decision matrix and weight system, the comprehensive evaluation of cloud services are calculated and sorted. The experimental results show that the proposed method can objectively and effectively evaluate the cloud service trust, and avoid the common problems such as lag, collusion and malicious evaluation.

Key words: cloud services; trust evaluation; multiple attribute decision making; interval number; service of quality

1 引言

随着商用为主的云计算得到大力推广,越来越多的企业推出云服务。然而,由于许多内在和外在的原因,云提供商提供的云服务往往不能达到他们所承诺的服务质量(Quality of Service, QoS)水平^[1]。面对众多功能相同或相近,而质量不同的云服务,如何依据云服务在真实云环境下的运行状况,对其进行客观的信任评估,为用户提供个性化推荐已成为当前云计算领域亟待解决的问题。

目前,对云提供商的云服务信任评估模型研究^[2]依据被评估的数据来源大体可以分为三类:第一类是基于主观推荐的云服务信任评估方法,其依据云用户与云提供商的历史交互经验,对云服务的可信性与有效性进行评估^[3,4]。这类方法

容易产生“滞后效应”,且会受到人为因素的影响。第二类是基于主客观结合的云服务信任评估方法,其依据云用户与云提供商的历史交互经验,以及云服务的QoS指标数据对云提供商所提供云服务进行综合评估^[1,5,6]。这类方法在一定程度上减轻了信任评估结果的主观性,增强了评价的客观性,但是没有从根本上解决“滞后效应”和恶意评价。第三类是基于QoS指标的客观的云服务评价方法,如Qu C等^[7]将QoS属性引入对云服务的评价体系中,根据用户模糊服务质量的要求和服务的动态性,进行云服务选择推荐。这类方法避免了“滞后效应”和用户恶意评价,但是评估过程较复杂。

针对上述问题,本文提出了一种基于区间数多属性决策的云服务信任评估方法,该方法从云服务层次划分、QoS指标数据采集、指标权重计算和服务的综合评价四个方面完成对

收稿日期: 2017-05-24 收修改稿日期: 2017-07-10 基金项目: 国家自然科学基金项目(61572148) 资助; 广西可信软件重点实验室基金项目(kx201622) 资助; 广西无线宽带通信与信号处理重点实验室主任基金项目(GXKL061510, GXKL0614110) 资助; 广西高校云计算与复杂系统重点实验室项目(YF16205) 资助; 研究生教育创新计划项目(2017YJCX26) 资助。 作者简介: 武小年,男,1972年生,硕士,副教授,研究方向为信息安全、分布式计算; 王青芝,女,1990年生,硕士研究生,研究方向为信息安全; 张楚芸,女,1993年生,硕士研究生,研究方向为信息安全; 叶志博,男,1994年生,硕士研究生,研究方向为信息安全。

云服务的信任评估. 其中, 区间数被采用表示所采集的 QoS 指标数据; 模糊层次分析法被用于建立云服务模型的权重体系; 基于所建立的规范化决策矩阵和权重体系, 评估云服务及云提供商的服务质量优劣.

2 基于区间数多属性决策的云服务信任评估模型

云服务开放性特点, 使得依据云用户对云服务的交互经验进行云服务信任评估缺乏客观性. 而实际上, 云服务的优劣, 可以通过监测云服务提供商在为云用户提供云服务时 QoS 的好坏来客观判断. 基于此, 本文提出一种区间数多属性决策的云服务信任评估方法. 该方法从云服务层次划分、QoS 指标数据采集、指标权重计算和服务综合评价四个方面完成对云服务的信任评估. 模型结构如图 1 所示.

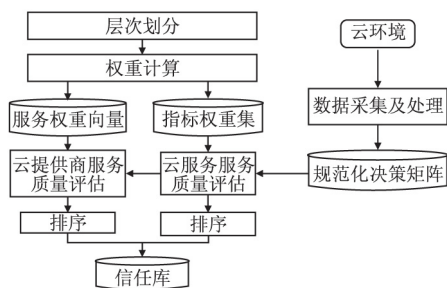


图 1 云服务信任评估模型结构

Fig. 1 Trust evaluation model structure of cloud service

云服务信任评估是一个模糊且难以量化的问题, 为具体化信任评估中的相关信息, 在图 1 的层次划分中, 本文按照评估对象的性质及其之间的相互关联以及隶属关系, 将云服务及反映云服务特征的属性等问题层次化, 形成一个包括目标层、服务层和指标层的多层次结构模型.

定义 1. 目标层是指云提供商, 即具有独立自主能力可以为用户提供云服务的实体. 以 T 表示目标层, 则目标层集合 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_k\}$ k 为云提供商数量.

定义 2. 服务层指由目标层中云提供商提供的云服务. 用 S 表示服务层, 则 $S = \{s_{11}, s_{12}, \dots, s_{ij}, \dots, s_{km}\}$ s_{ij} 为云提供商 i 的第 j 个云服务 m 为云提供商 k 的云服务数量.

定义 3. 指标层是指对服务层中云服务的度量指标, 用来客观的描述云服务的运行情况. 用 Q 表示指标层, 则 $Q = \{q_{11}, q_{12}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{mn}\}$ q_{ij} 表示第 i 个云服务的第 j 个 QoS 指标.

在云环境中, 针对云提供商提供的虚拟化的云服务, 无法像有形商品一样去观察比较, 而云用户对云服务的评价往往带有个人主观色彩. 为客观评价云服务, 通过监测和采集云服务运行过程的 QoS 指标数据, 如传输速率、响应时间等, 为评估云服务提供客观的数据来源. 云服务的 QoS 指标是对云服务满足用户需求能力的一种度量, 包括安全性、可靠性、成本、性能、可用性等, 各指标之间相互影响相互制约, 且处于动态变换中. 多属性决策方法可以有效解决有多个待评估目标和多个评估指标的问题. 因此, 本文采用多属性决策方法评估云服务, 而针对云服务指标数据的动态性, 对采集的 QoS 指标数据用区间数形式表示并规范化.

由于云服务本身的特点以及云提供商的性能和利益等的不同, 导致不同云提供商所提供的相同云服务和同一云提供商所提供的不同云服务都有不同的 QoS 指标权重. 为合理表达云服务层次模型中目标层和服务层以及服务层和指标层之间的隶属关系, 依据层次结构中下层对上一层的影响程度, 采用模糊层次分析法计算云服务评估的权重体系.

基于采集并规范化处理的决策矩阵以及构建的层次结构模型权重体系, 采用区间数多属性决策^[7]中的线性加权法评估云服务以及云提供商的优劣, 并以基于布尔矩阵的区间数排序方法排序, 实现对云服务及云提供商的信任评估.

3 数据的采集及处理

在实际环境中, 云服务 QoS 指标的数值会随环境的变化而波动, 但如果实时采集数据, 会降低评估效率. 鉴于云平台对云服务运行的监控, 采集云服务在一段时间内的运行数据, 并用区间数形式表示.

定义 4. 设 q^l, q^h 是两个实数 $q^l, q^h \in R$, 且 $q^l \leq q^h$, 则称 $q = [q^l, q^h]$ 为区间数. 其中 q^l 为区间数的下界, q^h 为区间数的上界. 特别地, 当 q^l 与 q^h 大小相等时, 区间数就变为一个实数.

针对第 k 个云提供商的第 i 个云服务的第 j 个 QoS 指标 q_{ij}^k , 以 $q_{ij}^{k,l}$ 表示检测过程中该指标运行数据的下界, $q_{ij}^{k,h}$ 表示检测过程中该指标运行数据的上界, 则 q_{ij}^k 的区间数形式为 $q_{ij}^k = [q_{ij}^{k,l}, q_{ij}^{k,h}]$.

基于采集的反映云服务 QoS 的指标数据, 按照不同的指标属性进行数据分类, 构建一个反映云服务 QoS 区间数多属性的决策矩阵 X 如下:

$$X = (q_{ij})_{m \times s \times n} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1j} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2j} & \cdots & q_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{i1} & q_{i2} & \cdots & q_{ij} & \cdots & q_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{m \times s \times 1} & q_{m \times s \times 2} & \cdots & q_{m \times s \times j} & \cdots & q_{m \times s \times n} \end{bmatrix}$$

在决策矩阵 X 中, 不同 QoS 指标具有不同的物理意义和量纲, 难以直接进行比较. 通过规范化, 可以去除不同 QoS 指标的量纲, 实现对不同指标的融合计算; 并能够将不同指标数据转化为特定区间的数据, 避免不同数据数值的巨大波动和数据的相互影响. 上述 QoS 指标, 从其性质可以划分为效益型和成本型两类. 效益型指标是指数值越大越好的指标, 如资源利用率、可靠性、准确性等; 成本型指标是指数值越小越好的指标, 如响应时间、成本等.

针对决策矩阵 X 中的效益型指标, 依据区间数运算法则, 基于向量归一化原理进行规范化, 其公式如下:

$$\begin{cases} (q_{ij}^{k,l})' = q_{ij}^{k,l} / \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^m q_{ij}^{k,h} \\ (q_{ij}^{k,h})' = q_{ij}^{k,h} / \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^m q_{ij}^{k,l} \end{cases} \quad (1)$$

对 X 矩阵中的成本型指标, 其规范化公式如下:

$$\begin{cases} (q_{ij}^{k,l})' = (1/q_{ij}^{k,h}) / \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^m (1/q_{ij}^{k,l}) \\ (q_{ij}^{k,h})' = (1/q_{ij}^{k,l}) / \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^m (1/q_{ij}^{k,h}) \end{cases} \quad (2)$$

对决策矩阵 X 规范化后决策矩阵 X' 如下:

$$X' = (q_{ij})_{m \times s \times n} = \begin{bmatrix} (q_{11})' & (q_{12})' & \cdots & (q_{1j})' & \cdots & (q_{1n})' \\ (q_{21})' & (q_{22})' & \cdots & (q_{2j})' & \cdots & (q_{2n})' \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (q_{i1})' & (q_{i2})' & \cdots & (q_{ij})' & \cdots & (q_{in})' \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (q_{m \times s \times 1})' & (q_{m \times s \times 2})' & \cdots & (q_{m \times s \times j})' & \cdots & (q_{m \times s \times n})' \end{bmatrix}$$

4 建立层次结构模型权重体系

度量云服务 QoS 的指标众多,各指标可能还会相互影响.为权衡不同指标对云服务的影响,并适应云服务复杂多变的特性,需要构建一个针对不确定多属性决策问题的权重计算方法.多属性决策问题中的指标权重确定方法有熵值法、模糊聚类法、主成分分析法、层次分析法(AHP)等.模糊层次分析法^[8](FAHP)基于层次分析法,对模糊的、难以量化的问题给出了有效的解决途径.本文采用 FAHP 建立层次结构模型权重体系.

FAHP 首先建立模糊一致性判断矩阵,再计算各层构成要素对于总目标的组合权重.相对于 AHP,FAHP 构建模糊判断矩阵使一致性检验过程更加简单和科学.

4.1 构建模糊判断矩阵

为了合理表达出不同云服务对云提供商的影响程度,以及不同 QoS 指标对云服务的影响程度的不同,本文采用隶属度量化这种影响程度的比较,并通过“0.1-0.9”标度法^[9](其描述了两个元素间的重要程度,如两个元素重要程度一样或一个元素较另一个元素更加重要).将隶属度的值限定在 [0.1, 0.9] 区间,建立模糊判断矩阵.

定义 5. 若对论域(研究的范围) U 中的任一元素 x ,都有一个数 $A(x) \in [0, 1]$ 与之对应,则称 A 为 U 上的模糊集. $A(x)$ 称 x 对 A 的隶属度.隶属度 $A(x) \rightarrow 1$ 表示 x 属于 A 的程度越高; $A(x) \rightarrow 0$ 表示 x 属于 A 的程度越低.

针对云服务的两个指标 i 和 j ,以 r_{ij} 表示指标 i 和指标 j 比较时,两者具有的模糊关系“...比...重要得多”的隶属度,则当 $r_{ij} \rightarrow 1$ 表示指标 i 比指标 j 的重要程度更高; $r_{ij} \rightarrow 0$ 表示指标 i 比指标 j 的重要程度更低.

依据“0.1-0.9”标度法对服务的各个指标进行比较,获得各指标两两间的隶属度,建立指标层的模糊判断矩阵 R .针对服务层中的第 i 个服务,以其指标间的隶属度建立的模糊判断矩阵 R_i 如下:

$$R_i = (r_{kj})_{n \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1j} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2j} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & r_{kj} & \cdots & r_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nj} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

类似地,对于服务层所有服务 $s_{11}, s_{12}, \dots, s_{ij}, \dots, s_{km}$ 的指标隶属度,分别建立云服务的模糊判断矩阵 R_1, R_2, \dots, R_m .

同理,对于目标层的 k 个云提供商 $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_k$,计算各云提供商各服务两两间的隶属度,建立云提供商的模糊判断矩阵 E_1, E_2, \dots, E_k .

模糊判断矩阵的隶属度依据实际采集的数据量化不同指标间的关系,适用于多属性不确定性的权重的计算.

4.2 对模糊判断矩阵的一致性检验

为检验各元素重要度之间的协调性,对模糊判断矩阵进行一致性检验,其评判标准为:矩阵中第一行与其它行间的差值是否为常数.以 R_i 为例进行一致性检验如下:首先用 R_i 的第一行减去第二行对应元素,若所得的 m 个差值分别相等,则不再调整第二行,否则,对第二行元素进行调整,直到各差值相等.同理,以第一行和其它各行进行检验和调整,最终得到模糊一致判断矩阵 $(R_i)'$.

类似地,对所有云服务模糊判断矩阵 R_1, R_2, \dots, R_m 进行一致性检验,获得服务层各云服务的模糊一致性判断矩阵 $(R_1)', (R_2)', \dots, (R_i)', \dots, (R_m)'$.

对目标层各云提供商的判断矩阵进行类似一致性检验,得到模糊一致性判断矩阵 $(E_1)', (E_2)', \dots, (E_i)', \dots, (E_k)'$.

模糊判断矩阵的一致性检验,保证了矩阵中各元素重要度之间的一致性,使计算结果科学、可靠.

4.3 权重计算方法

权重的计算或选择,需要能够反映出其对最终计算结果的影响程度.为简化模糊一致性判断矩阵进行权重影响的计算量,并保留矩阵中各元素对评估对象的影响,本文采用模糊判断矩阵权重公式计算云服务的指标权重.以 ω_{ij} 表示第 i 个云服务的第 j 个 QoS 指标的权重,其计算公式如下:

$$\omega_{ij} = \frac{1}{n} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{n \times a} \sum_{j=1}^n (r_{ij})' \quad (3)$$

其中 n 为第 i 个云服务的指标数量 $a = (n-1)/2$.

类似求第 i 个云服务的 n 个 QoS 指标的权重集 ω_i 如下:

$$\omega_i = [\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{ij}, \dots, \omega_{in}]$$

最终,计算出服务层所有云服务所有指标权重集,获得的权重矩阵 ω 如下:

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \cdots & \omega_{1j} & \cdots & \omega_{1n} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \cdots & \omega_{2j} & \cdots & \omega_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \omega_{i1} & \omega_{i2} & \cdots & \omega_{ij} & \cdots & \omega_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \omega_{m1} & \omega_{m2} & \cdots & \omega_{mj} & \cdots & \omega_{mn} \end{bmatrix}$$

同理,基于目标层 k 个云提供商的模糊一致性判断矩阵 $(E_1)', (E_2)', \dots, (E_i)', \dots, (E_k)'$,采用公式(3)计算云服务权重向量 $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_k$,获得权重矩阵 v .

指标权重矩阵 ω 和服务权重矩阵 v 共同构成层次结构模型权重体系 W ,其将为云服务的综合评估提供权重支持.

5 云服务信任评估与排序

云服务服务质量的优劣,反映了云服务的可信性.依据规范化的决策矩阵 X 和量化的权重体系 W ,实现对云服务服务质量的评估.

5.1 云服务信任评估方法

常见的区间数多属性决策中的综合评价方法主要有:简单线性加权法、理想点法、层次分析法,以及在此基础上的改

进方法. 针对云服务的多属性问题, 本文采用线性加权法实现对云服务的评价.

以 T_i 表示第 i 个云服务的综合评价价值, 计算公式如下:

$$T_i = \sum_{j=1}^n ((q_{ij})^{\sim} \times \omega_{ij}) \quad (4)$$

其中 $(q_{ij})^{\sim}$ 为 X 中第 i 行 j 列的 QoS 指标数据; ω_{ij} 为指标权重矩阵 ω 中第 i 个云服务的第 j 个指标权重值.

由于指标数据 $(q_{ij})^{\sim}$ 采用区间数表示, 因此, 云服务的综合评价结果也是一个区间数, 即 $T_i = [t_i^l, t_i^h]$.

类似计算服务层所有云服务综合评价价值 T_1, T_2, \dots, T_m .

基于对云提供商的各云服务综合评价结果和对云提供商的服务权重集, 计算云提供商的综合评价价值. 以 F_i 表示第 i 个云提供商的综合评价价值, 计算公式如下:

$$F_i = \sum_{j=1}^m ((T_{ij})^{\sim} \times v_{ij}) \quad (5)$$

其中 $(T_{ij})^{\sim}$ 为云提供商 i 的第 j 个云服务的综合评价价值; v_{ij} 为矩阵 v 中第 i 个云提供商的第 j 个云服务权重值. 同样, 云提供商的综合评价结果也是一个区间数, 即 $F_i = [f_i^l, f_i^h]$.

类似地, 可以计算出目标层 k 个云提供商的综合评价价值 F_1, F_2, \dots, F_k .

5.2 云服务基于布尔矩阵的区间数排序

为区分不同云服务或云提供商的服务质量优劣, 需要对其综合评价结果进行排序. 针对区间数的排序, 人们常采用基于可能度的区间数排序方法, 但该方法可能会导出不合理的排序结果. 基于布尔矩阵的区间数排序方法^[10]可以消除这种局限性, 本文采用布尔矩阵对上述的评价结果排序.

定义 6. 可能度是用来反映一个区间数大于另一个区间数程度的量. 以该度量为基础可以导出区间数之间的排序.

文献[11]比较了几种常用的可能度计算模型, 并证明了其排序结果具有等价性. 本文选用由 Nakahara 等^[12]提出的计算相对简单的可能度计算公式, 具体如下:

设有区间数 $\tilde{a} = [a^l, a^h]$, $\tilde{b} = [b^l, b^h]$, 令 $l(a) = a^h - a^l$, $l(\tilde{b}) = b^h - b^l$, 分别表示区间数和 a 的 b 长度. 用可能度 $P(\tilde{a} > \tilde{b})$ 描述 \tilde{a} 大于 \tilde{b} 的程度, 可能度计算公式如下:

$$P(\tilde{a} > \tilde{b}) = \min \left\{ \max \left(\frac{a^h - b^l}{l(\tilde{a}) + l(\tilde{b})}, 0 \right), 1 \right\} \quad (6)$$

假设, 对第 k 个云提供商所提供的 m 个云服务的综合评价价值 $T_{k1} = [T_{k1}^l, T_{k1}^h]$, $T_{k2} = [T_{k2}^l, T_{k2}^h]$, \dots , $T_{ki} = [T_{ki}^l, T_{ki}^h]$, \dots , $T_{km} = [T_{km}^l, T_{km}^h]$ 进行排序. 依据公式(6), 在 m 个区间数两两之间求可能度, 其可能度矩阵 P_k 如下:

$$P_k = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1j} & \cdots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2j} & \cdots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{i1} & p_{i2} & \cdots & p_{ij} & \cdots & p_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mj} & \cdots & p_{mm} \end{bmatrix}$$

为减小计算量, 将可能度矩阵中的元素 p_{ij} 依据如下准则进行转换, 形成布尔排序矩阵 Z_k .

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1 & p_{ij} \geq 0.5 \\ 0 & p_{ij} < 0.5 \end{cases} \quad (7)$$

依据布尔排序矩阵 Z_k 求排序向量, 即将布尔矩阵 Z_k 按行求和, 所得结果即 $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ 为所求的排序向量.

按照排序向量 λ 值的大小对第 k 个云提供商所提供的 m 个云服务的综合评价价值 T_{ki} 进行排序, 排序结果显示了 m 个云服务所提供服务质量的高低, 即为云服务的可信性高低.

同理, 可以对服务层所有的云服务按照布尔矩阵的排序方法求出所有云服务的可信性排序结果.

对于目标层的所有云提供商, 则通过求云提供商的综合评价价值 F 的可能度矩阵, 再按照同样的规则转换为布尔矩阵并排序, 求出所有云提供商的可信性排序.

需要说明的是, 排序结果并非一成不变, 其会随实时采集的 QoS 指标数据, 以及所计算的权重体系变化而动态变化, 能够有效反映出云提供商所提供服务质量的实时变化.

6 仿真实验及结果分析

6.1 实验环境

本文采用 MATLAB 实现了模型中的决策矩阵规范化、基于模糊层次分析法的权重计算、综合评估计算及布尔排序等功能. 对从 CloudHarmony 网站¹采集的云提供商所提供服务的 QoS 指标数据进行处理和评估, 验证方法的有效性. 实验计算机 CPU 为 Intel(R) Core(TM) i5-2.50GHz, 内存为 6GB, 操作系统为 Windows 7.

表 1 云提供商服务偏重表

CSP 类型	小文件下载	大文件下载	时延
eu	☆☆☆☆☆	☆☆☆	☆
asia	☆☆☆	☆☆☆☆☆	☆
us-east1	☆	☆	☆☆☆☆☆
us-west1	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆

在实验中, 本文主要针对 Google Cloud Storage 平台分别在 eu、asia、us-east1 和 us-west1 四个地区的文件下载服务指标数据进行评估. 对文件下载的服务包括: 小文件下载、大文件下载和时延. 初始地, 假设 eu 地区的小文件下载最优、asia 地区的大文件下载最优、us-east1 地区的时延最优、us-west1 地区的三种服务均衡, 则云提供商所提供云服务的偏重表如表 1 所示, 其用于构造模糊判断矩阵.

6.2 数据采集及处理

CloudHarmony 网站提供了多个云提供商所提供诸多云服务, 其记录了各个云服务提供服务质量的指标数据. 因该网站提供的服务监测数据众多, 无法一一列出. 因此, 实验中主要记录了 Google Cloud Storage 平台在一段时间内在 eu、asia、us-east1 和 us-west1 四个地区文件下载的 QoS 指标数据. 表 2 中将四个地区当作四个不同的云提供商, 所提供的云服务及 QoS 指标数据具体如表 2 所示.

依据表 2 中的原始数据列出决策矩阵 X , 通过规范化得到规范化决策矩阵 X' 如下:

¹http://www.cloudharmony.com/

$$X' = (q_{ij})'_{12 \times 4} = \begin{bmatrix} [0.0016 \ 0.0087] & [0.0037 \ 0.0126] & [0.0036 \ 0.0036] & [0.0013 \ 0.0026] \\ [0.000 \ 0.0007] & [0.0002 \ 0.0020] & [0.0010 \ 0.0010] & [0.0038 \ 0.0184] \\ [0.0002 \ 0.0014] & [0.0001 \ 0.0010] & [0.0010 \ 0.0010] & [0.0010 \ 0.0051] \\ [0.0019 \ 0.0203] & [0.0063 \ 0.0343] & [0.0374 \ 0.0374] & [0.0002 \ 0.0004] \\ [0.0013 \ 0.0371] & [0.0006 \ 0.0045] & [0.0153 \ 0.0153] & [0.0006 \ 0.0025] \\ [0.0000 \ 0.0001] & [0.0000 \ 0.0001] & [0.0000 \ 0.0000] & [0.0035 \ 0.0056] \\ [0.0025 \ 0.0087] & [0.0084 \ 0.0214] & [0.0043 \ 0.0043] & [0.0001 \ 0.0002] \\ [0.0001 \ 0.0050] & [0.0001 \ 0.0006] & [0.0035 \ 0.0035] & [0.0011 \ 0.0025] \\ [0.0005 \ 0.0016] & [0.0001 \ 0.0003] & [0.0001 \ 0.0001] & [0.0108 \ 0.0157] \\ [0.0145 \ 0.0612] & [0.0182 \ 0.0513] & [0.0099 \ 0.0099] & [0.0108 \ 0.0157] \\ [0.0002 \ 0.0025] & [0.0017 \ 0.0083] & [0.0026 \ 0.0026] & [0.0001 \ 0.0002] \\ [0.0001 \ 0.0008] & [0.0003 \ 0.0016] & [0.0006 \ 0.0006] & [0.0007 \ 0.0019] \end{bmatrix}$$

6.3 云服务信任计算实验

针对上述采集并规范化数据,通过权重计算、服务综合评价、排序完成对云提供商所提供服务的信任计算。

6.3.1 权重计算

根据表 2 中的指标数据,分析并列出服务对不同指标的偏重,建立各指标的模糊判断矩阵、模糊一致性判断矩阵,进

表 2 以区间数表示的 QoS 指标数据

Table 2 QoS index data represented by interval numbers

云平台	地区	云服务	QoS 指标			
			传输速率	准确性	转换率	响应时间
Google Cloud Storage	eu	小文件下载	(3.34 7.52)	(3.43 6.4)	(1.43 1.43)	(3.71 5.14)
		大文件下载	(0.24 2.16)	(0.31 1.78)	(0.63 0.63)	(0.47 1.54)
		时延	(0.375 1.459)	(0.409 1.448)	(0.483 0.483)	(0.416 1.431)
	asia	小文件下载	(9.24 40.6)	(13.78 40.46)	(11.44 11.44)	(19.56 33.08)
		大文件下载	(1.26 14.65)	(1.89 8.29)	(3.68 3.68)	(2.09 6.09)
		时延	(0.071 0.117)	(0.076 0.088)	(0.011 0.011)	(0.079 0.087)
	us-east1	小文件下载	(19.14 28.19)	(19.72 27.12)	(3.19 3.19)	(20.86 24.83)
		大文件下载	(0.15 5.36)	(0.96 2.37)	(1.3 1.3)	(1.01 1.63)
		时延	(0.315 0.434)	(0.323 0.404)	(0.038 0.038)	(0.3830 0.38)
	us-west1	小文件下载	(38.56 68.8)	(44.43 67.79)	(10.16 10.16)	(52.95 62.25)
		大文件下载	(1.25 5.51)	(1.67 4.37)	(1.32 1.32)	(1.91 3.47)
		时延	(0.231 0.873)	(0.249 0.857)	(0.284 0.284)	(0.251 0.851)

而计算出指标的权重矩阵 ω 如下:

$$\omega = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.4 \\ 0.07 & 0.29 & 0.17 & 0.47 \\ 0.3 & 0.24 & 0.3 & 0.16 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 \\ 0.4 & 0.1 & 0.3 & 0.2 \\ 0.5 & 0.4 & 0.05 & 0.05 \\ 0.1 & 0.3 & 0.2 & 0.4 \\ 0.3 & 0.1 & 0.4 & 0.2 \\ 0.5 & 0.1 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.1 & .5 \\ 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}$$

根据表 1,建立各服务的模糊判断矩阵、模糊一致性判断矩阵,进而计算出 Google Cloud Storage 平台在 eu、asia、us-east1 和 us-west1 四个地区的服务权重向量如下:

$$v_1 = [0.43 \ 0.33 \ 0.24] \quad v_2 = [0.37 \ 0.47 \ 0.16]$$

$$v_3 = [0.23 \ 0.23 \ 0.54] \quad v_4 = [0.33 \ 0.33 \ 0.33]$$

6.3.2 云提供商的服务质量评价

根据公式(4)计算出不同云服务的综合评价结果,再以公式(5)计算四个云提供商的综合评价结果,具体如下:

$$F_{eu} = [0.0176 \ 0.0581] \quad F_{asia} = [0.0672 \ 0.1576]$$

$$F_{us-east1} = [0.0317 \ 0.0641] \quad F_{us-west1} = [0.0502 \ 0.1480]$$

6.3.3 云提供商的信任评价

采用基于布尔矩阵的区间数排序方法进行排序得:

$$\lambda = (2 \ 4 \ 3 \ 1) \text{, 即 } F_{asia} > F_{us-west1} > F_{us-east1} > F_{eu}$$

排序结果表明,在四个地区中,asia 地区最优,其次为 us-west1 地区,而 eu 地区最差。

上述实验结果表明,本文所提出的方法能够依据实际监测采集的云服务指标数据和云提供商服务偏重表,对云服务及云提供商进行有效的信任评估。

6.4 服务指标权重变化对比实验

为表明本文方法对云服务信任评估的正确性,本实验通过主观的用户偏好来影响云服务的偏重情况,并最终改变云提供商的排序结果。

基于表 2 的实验数据,设置用户偏好为:用户无偏好、偏重于小文件下载、偏重于大文件下载、偏重于时延。

基于设置的用户偏好,以其改变表 1 中的云服务偏重,并

重新计算云服务和云提供商的权重,再结合决策矩阵,计算出云服务及云提供商的综合评价结果,其排序结果如下。

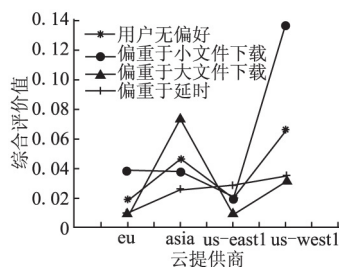


图2 改变服务的指标偏重对比试验结果

Fig. 2 Compared results among different services with inclined index

图2显示,对于四个云提供商,改变用户偏好,其信任评估的结果会相应改变。对比于表1中的云服务偏重表,相对于用户无偏好的情况,当用户偏重于某一个服务时,表1中服务偏重大的云提供商在图2中排序结果会前移。这表明本文方法能够根据用户偏好的变化正确地评估云服务及云提供商的信任变化。

6.5 与逼近理想点法模型的对比测试

基于同样的QoS指标数据和服务偏重信息,对比测试了本文方法与逼近理想点法模型^[13]对云服务和云提供商的综合评估结果,实验结果如图3所示。

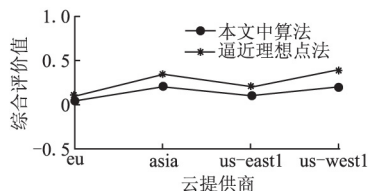


图3 不同方法的综合评价对比结果

Fig. 3 Compared results between different methods

从图3可以看出,本文方法与理性点逼近法对云服务评估的排序结果是一致的,说明了本文方法的有效性。同时,本文方法的算法复杂度为 $O(n)$,而理想点逼近法的算法复杂度为 $O(n^2)$,本文方法具有更高的效率。

7 结束语

针对云服务的服务质量评估问题,提出一种基于区间数多属性决策的云服务信任评估方法。该方法通过采集云提供商在提供云服务时的QoS指标数据并进行分析,以保证参与评估数据的客观性和实时性;采用模糊层次分析法计算指标体系权重,并通过线性加权和布尔矩阵排序方法计算云服务及云提供商的服务质量情况。实验结果表明,本文方法能够正确计算出云服务及云提供商的服务质量优劣情况,并具有良好的客观性。在下一步工作中,将考虑研究未知权重的评估方法,并将其替代云服务偏重评估方法,加强对云服务评估的客观性和真实性。

References:

- [1] Qi L, Dou W, Zhou Y, et al. A context-aware service evaluation approach over big data for cloud applications [J]. IEEE Transactions on Cloud Computing, 2015: 1-11.
- [2] Agheli N, Hosseini B, Shojaaee A. A trust evaluation model for selecting service provider in cloud environment [C]. International Conference on Computer and Knowledge Engineering, IEEE, 2014: 251-255.
- [3] Xu Z, Martin P, Powley W, et al. Reputation-enhanced QoS-based Web services discovery [C]. IEEE International Conference on Web Services, IEEE, 2007: 249-256.
- [4] Noorian Z, Fleming M, Marsh S. Preference-oriented QoS-based service discovery with dynamic trust and reputation management [C]. Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on Applied Computing, SAC '12, 2012: 2014-2021.
- [5] Tan Z, Niu Y, Liu Y, et al. A novel trust model based on SLA and behavior evaluation for clouds [C]. 2016 14th Annual Conference on Privacy, Security and Trust (PST), Auckland, 2016: 581-587.
- [6] Osullivan M, J, Dan G. Context aware mobile cloud services: a user experience oriented middleware for mobile cloud computing [C]. IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services and Engineering, IEEE, 2016: 67-72.
- [7] Qu C, Buyya R. A cloud trust evaluation system using hierarchical fuzzy inference system for service selection [C]. IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications, IEEE, 2014: 850-857.
- [8] Panigrahi R, Srivastava P R. Evaluation of travel websites [C]. A Fuzzy Analytical Hierarchy Process Approach, 2015 IEEE UP Section Conference on Electrical Computer and Electronics (UPCON), Allahabad, 2015: 1-6.
- [9] Ze-shui X, Liao H. Senior Member. Intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2014, 22(4): 749-761.
- [10] Li De-qing, Han Guo-zhu, Zeng Wen-yi, et al. Ranking method of interval numbers based on boolean matrix [J]. Control and Decision, 2016, 31(4): 629-634.
- [11] Gao Feng-ji. Possibility degree and comprehensive priority of interval numbers [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2013, 33(8): 2033-2040.
- [12] Sun B, Ma W. An approach to consensus measurement of linguistic preference relations in multi-attribute group decision making and application [J]. Omega, 2015, 51(1): 83-92.
- [13] Zhang Ji-jun, Fan Yu-ying. TOPSIS of multiple attribute decision making problem with interval-valued weight [J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(11): 76-77.

附中文参考文献:

- [10] 李德清, 韩国柱, 曾文艺, 等. 基于布尔矩阵的区间数排序方法 [J]. 控制与决策, 2016, 31(4): 629-634.
- [11] 高峰记. 可能度及区间数综合排序 [J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(8): 2033-2040.
- [13] 张吉军, 樊玉英. 权重为区间数的多指标决策问题的逼近理想点法 [J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(11): 76-77.