

文章编号:1674-2974(2016)10-0126-08

## 基于信任度变化趋势的云服务选择模型<sup>\*</sup>

胡 军<sup>1†</sup>,肖德育<sup>1</sup>,陈 灿<sup>1,2</sup>

(1. 湖南大学 信息科学与工程学院,湖南 长沙 410082;

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)

**摘 要:**针对云服务选择过程中,用户难以选择可信、可用、可靠的云服务问题,本文提出一种基于信任度变化趋势,并结合 QoS 服务质量的云服务选择模型. 首先,信任度的计算分为两部分,一部分根据贝叶斯原理计算信任度值,另一部分是将历史信任度值进行最小二乘的拟合,得到能更准确地反映信任度值的变化趋势值,根据信任度变化趋势值对信任度值进行修正,确定其综合信任度值. 然后,根据云服务的 QoS 量化模型,计算得到客观的 QoS 值,在此基础上,引入了信息熵的概念来确定可信参数加权的问题,从而得到最优的服务选择. 仿真实验表明,该模型能够体现云服务主体信任度的变化,增强云服务选择的预判能力,有效地提高服务选择的成功率.

**关键词:**云服务;信任度变化趋势值;贝叶斯原理;最小二乘方法;服务质量;信息熵

**中图分类号:**TP399

**文献标识码:**A

## Cloud Service Selection Model Based on Trust Trend

HU Jun<sup>1†</sup>,XIAO De-yu<sup>1</sup>,CHEN Can<sup>1,2</sup>

(1. College of Computer Science and Electronic Engineering, Hunan Univ, Changsha, Hunan 410082,China;

2. Guangxi Key Laboratory of Trusted Software, Guilin Univ of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004,China)

**Abstract:** In order to improve the efficiency of cloud service selection and to guarantee trustworthy, a available and reliable cloud service, a new model of cloud service selection based on trust trend was proposed. Base on this model, we firstly calculated the determined trust value in two parts: trust value and trust trend value (TTV). Trust value was calculated with Bayes theorem. Trust trend value was calculated with least squares linear regression. Trust trend value aims to illustrate the trust trend of changes in a given period. Then, we obtained the objective QoS value in the QoS quantitative model of could services. At the same time, the measuring strategy of trust relationship among cloud services was designed based on information entropy. The experiment result shows that this method can reflect changes in trust cloud services, enhance the predictive ability and effectively improve the success rate of cloud service selection.

**Key words:** cloud service; trust trend value; Bays theorem; least square linear regression; quality of service; information entropy

\* 收稿日期:2015-11-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60773208),National Natural Science Foundation of China(60773208);湖南省自然科学基金资助项目(11JJ3065);广西可信软件重点实验室研究课题资助项目(kx201537)

作者简介:胡 军(1971-),男,湖南长沙人,湖南大学副教授,博士

† 通讯联系人,E-mail:hujun\_111@hnu.edu.cn

云计算以按使用量付费的计算资源共享池的方式提供可用的、便捷的、按需的云服务. 它包括 3 个层次的服务: 基础设施即服务 (IaaS)、平台即服务 (PaaS) 以及软件即服务 (SaaS), 其中 IaaS 为消费者提供完善的计算机基础设施服务, 如硬件服务器租用, PaaS 是将软件研发平台作为一种服务提供给消费者, SaaS 是通过网络向消费者提供软件的模式. 由于云服务资源具有异构性、不确定性、动态性等特点, 在进行云服务选择的过程中往往会导致多方面的问题, 一方面是由于云环境下服务提供商数量众多, 会出现不同的服务提供商 (SP, services provider) 提供相同或相似而服务质量 (QoS, quality of service) 却各异的云服务的情况, 但是由于用户个体专业水平的差异, 很难根据服务提供商 SP 提供的 QoS 属性来选择满足自己要请求的云服务. 另一方面, 由于部分服务提供商可能提供虚假的、不可信的服务信息参与到服务选择的过程中, 导致了有的服务使用者需要多次的服务请求才能得到真实可靠的服务, 服务选择的效率不高. 根据 QoS 度量的综合评估选择云服务提供商, 是云服务选择的一般做法. 目前的研究, 一般只是简单的将信任度作为一个 QoS 聚合的一个属性值来计算, 这样往往导致了信任度的动态性得不到很好的体现, 并且单一的信任度属性值虽然能够反映一定时期内信任度的积累, 但是并不能体现完整的信任度状态, 尤其是信任度的变化趋势.

针对云服务选择的研究, 国内外许多学者做了很多工作, 比如多目标的遗传算法、粒子群算法 PSO<sup>[1]</sup>、人工神经网络算法<sup>[2]</sup>, 这些方法的应用一般是针对一个相对静止的场景, 而在云计算环境中网络服务的产生和消失往往是动态的, 所以需要解决云计算环境中服务的真实性判断、选择服务算法时对服务质量的了解程度<sup>[3]</sup>以及云服务的信任度等一系列问题.

针对这些问题, 同时为了保证服务选择算法的成功, 基于对服务主体信任度的研究就显得尤其重要, 马友等<sup>[4]</sup>提出了一种新的 QoS 度量的 ESOW 算法, ESOW 算法根据用户的主观偏好权重和客观权重两部分综合得到, 用户主观权重的计算是基于自适应的 SWDM 算法, 同时根据 OWDM 算法计算得到客观权重. Sarbjeet<sup>[5]</sup>提出了一种根据云服务使用者的过往经历和第三方的服务推荐信任评估机制; DAS A 等<sup>[6]</sup>提出了一种能够有效地对恶意的 Agent 策略的行为进行新人评估的动态信任计算模

型 ST, 它主要通过分析和评估相关的所有要素, 从而作出正确决策; ZHOU Ao 等<sup>[7]</sup>从服务提供商的利益最大化的角度出发, 从价格分配以及请求迫切性出发, 提出了一种动态虚拟资源租赁方法; 曹洁等<sup>[8]</sup>根据社会学中人际关系, 并且结合用户满意度评价、推荐评价以及第三方监管反馈, 提出了新的可信度量模型; 张琳等<sup>[9]</sup>根据行为以及信息服务的动态性, 结合相关等级因子、属性因子、间隔因子、惩罚因子等 4 种因子, 提出了一种新的动态信任监控模型; Abawajy<sup>[10]</sup>提出了一种基于信誉的分布式信任管理框架, 该框架可以通过过往经验、信任等级一级诚实度来决定云计算实体的信任值. 综合上述研究, 本文提出了一种基于信任度变化趋势的云服务选择模型, 通过直接信任度和推荐信任度综合计算信任度值, 同时为了更全面地反映出信任度的完整信息, 该模型中引入了信任度变化趋势值 (TTV trust trend value) 的概念, 通过信任度变化趋势值对综合信任度值进行预判的修正, 在此基础上, 引入了信息熵的概念来解决可信参数的加权的问题, 从而将综合信任度值和 QoS 值进行加权计算得到最优的云服务选择.

## 1 云服务主体的信任度及变化趋势描述

本文从 2 个方面来综合评估云计算服务主体的信任度: 1) 云服务使用者 (SC) 根据自己以往与云服务提供者 (SP) 的服务交易情况, 对云服务提供者进行直接信任度  $T^d$  评估; 2) 其他对同一 SP 有相同交易经历的云服务使用者向 SC 推荐该服务资源的推荐信任度  $T^r$ .

### 1.1 定义与说明

本文所述系统的服务反馈结果可用 positives、negatives 二值表示. 因此服务提供者的信任度值可定义为其提供好服务的概率  $P$ , 也就是利用评价信息尽量精确地反映提供好服务的概率  $P$ . 云计算的过程包括 3 个主要的实体:

**定义 1** Service Provider: 表示为  $pro_j$ , 表示第  $j$  个服务提供商, 该节点可以向使用者提供用户的云服务请求所需要的资源.

**定义 2** Service Customer: 表示为  $user_i$ ,  $i$  表示第  $i$  个服务请求用户, 该节点可以向服务中介发出服务请求的信息, 并且能够向服务中介提供服务历史以及服务结果. 作为对  $pro_j$  的评价, 用户  $user_i$  对  $pro_j$  的评价定义为二元组  $\langle positives_{ij}$ ,

negatives<sub>ij</sub> > .

**定义 3** Service Broker :表示为 broker,负责处理请求响应及管理,并且负责对 user<sub>i</sub> 反馈信息的处理,向 user<sub>i</sub> 提供 pro<sub>j</sub> 节点的评价信息.

**1.2 直接信任度与推荐信任度**

直接信任度值是通过两交易实体以往的历史交易信任度反馈信息来计算获得,在计算信任度的过程中,引入基于贝叶斯理论<sup>[11]</sup>来计算节点的信任值,描述的过程如下:

设 pro<sub>j</sub> 提供好的服务概率为 P<sub>j</sub>,节点 user<sub>i</sub> 与 pro<sub>j</sub> 经过若干次交易之后,得到了评价的二元组 < positives<sub>ij</sub>, negatives<sub>ij</sub> >, 得出 P<sub>j</sub> 的概率密度函数为:

$$f(p | \alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} p^{\alpha-1} (1 - p)^{\beta-1},$$

$$0 \leq p \leq 1, \alpha \geq 0, \beta \geq 0. \tag{1}$$

式中:  $\alpha = \text{positives}_{ij} + 1, \beta = \text{negatives}_{ij} + 1, \Gamma$  表示 Gama 函数:

$$\Gamma(z) = \int_0^{+\infty} e^{-t} t^{z-1} dt. \tag{2}$$

则有概率密度函数可以求得 P<sub>j</sub> 的贝叶斯估计值为:

$$P_{ij} = \frac{\int_{P_j=0}^1 f(P_j | \alpha_{ij}, \beta_{ij}) P_j dP_j}{\frac{\text{positives}_{ij} + 1}{\text{negatives}_{ij} + \text{positives}_{ij} + 2}} = \frac{\alpha_{ij}}{\alpha_{ij} + \beta_{ij}} = \tag{3}$$

则得到直接信任度值 T<sup>dr</sup> = P<sub>ij</sub>.

推荐信任值是指用户 user<sub>i</sub> 对于服务提供商 pro<sub>j</sub> 的信任值是通过其他相关实体之间的推荐得到,相关联实体根据经验评估而综合得到. 评估时,假定推荐实体的集合为 R,则实体集 R 中的关联用户 user<sub>k</sub> 向用户 user<sub>i</sub> 推荐的二元组为:

$$\begin{cases} \text{Re}_{=}^{\text{positives}} \sum_{k \in R} \text{positives}_{kj}, \\ \text{Re}_{=}^{\text{negatives}} \sum_{k \in R} \text{negatives}_{kj}. \end{cases} \tag{4}$$

同理,通过贝叶斯原理,可以得到推荐信任度值:

$$T^{rt} = \frac{\text{Re}_{=}^{\text{positives}} + 1}{\text{Re}_{=}^{\text{negatives}} + \text{Re}_{=}^{\text{positives}} + 2}. \tag{5}$$

**1.3 信任度值时间衰减函数**

并不是所有的用户反馈都可以真实地反映实体间的信任状况,因为随着时间的增长,老的用户反馈可能并不能准确地反映当前的信任度值,比如可能评价实体的服务行为已经进行了修改或者改进,所以这时候根据反馈的时间设定权值来精确用户的反馈信息,可以通过设定时间衰减函数机制的方法来

实现. 假定在时刻  $\tau$ , 经过  $t$  单位时间后用户反馈的信任度值随着时间推移的衰减计算式如式(6):

$$f_{ij}(\tau + t) = \begin{cases} f_{ij}(\tau), & f_{ij}(\tau) \geq \theta_1, t \leq \theta_2; \\ f_{ij}(\tau) e^{-\lambda(t-\theta_2)}, & f_{ij}(\tau) \geq \theta_1, t > \theta_2; \\ b, & \text{其他}. \end{cases} \tag{6}$$

式中:  $\lambda$  为衰减常数,用来控制信任度值衰减的快慢,  $\lambda$  的值可以根据不同的云服务类型来设定不同的值. 同时在考虑到用户对于实体评价的真实意图以及减少信任度更新的频率,在这里设定了一个开始衰减阈值  $\theta_2$  和停止衰减阈值  $\theta_1$ , 也就是当过去的时间  $t$  大于  $\theta_2$  时,信任度值才根据衰减常数递减,当信任度值小于或等于停止衰减阈值  $\theta_1$  时,则将信任度值设定为一个定值  $b$ ,信任度值不会再随时间变化.

**1.4 综合信任度的计算**

对于综合信任度的计算包括两个方面:直接信任度值 T<sup>dr</sup> 和推荐信任度值 T<sup>rt</sup>,而两者之间的权值可以根据不同的云服务类型设置不同的权值. 设其分别为  $\alpha, \beta$ . 且  $\alpha + \beta = 1$ , 在此论文中将其分别设定为 0.5, 0.5, 则服务资源 r<sub>k</sub> 的综合信任度 CT(pro<sub>k</sub><sup>j</sup>) 的计算式为:

$$\text{CT}(\text{pro}_k^j) = \alpha * \frac{\text{positives}_{ij} + 1}{\text{negatives}_{ij} + \text{positives}_{ij} + 2} + \beta * \frac{\text{Re}_{=}^{\text{positives}} + 1}{\text{Re}_{=}^{\text{negatives}} + \text{Re}_{=}^{\text{positives}} + 2}. \tag{7}$$

**1.5 信任度变化趋势值**

信任度变化趋势值: Trust Trend Value (TTV), 它表示信任度值随时间变化的趋势,它能够反映出信任度值的历史变化情况,对于下一步的服务选择有预判的指示作用,从而提高服务选择的效率.

为了能够量化表示 TTV 的值,引入了最小二乘数据拟合方法. 最小二乘拟合方法是一种用直线近似地刻画或者比拟平面上离散点组所表示的坐标之间的函数关系的方法. 假定 pro<sub>j</sub> 的信任度随时间变化的情况是  $\{(t_k, \text{trust}_k^j) : k \in [1, n]\}$ , 其中节点  $(t_k, \text{trust}_k^j)$  表示在 t<sub>k</sub> 时刻 pro<sub>j</sub> 的信任度值 p<sub>k</sub>, 根据最小二乘方法假定拟合直线方程为:

$$y_j = \text{TTV}_j * t_k + b. \tag{8}$$

其中直线的斜率 TTV<sub>j</sub> 即为定义的信任度值的变化趋势值, b 表示的为截距, 为了确定 TTV<sub>j</sub>, b 的值, 根据最小二乘方法的原理, 需要用所有的数据节点  $(t_k, y_k) (k = 1, 2, \dots, n)$  中的实际信任度值与拟合直

线上得出的信任度值做偏差值,并且使得所有的数据节点的偏差值的平方和最小,即:

$$M = \sum_{k=1}^n (\text{trust}_k - y_k)^2 = \sum_{k=1}^n (\text{trust}_k - \text{TTV}_j * t_k - b)^2$$

subject to min (M). (9)

而取得最小值的条件是相应的二元函数取极值为 0,即:

$$\frac{\partial M}{\partial \text{TTV}_j} = \frac{\partial M}{\partial b} = 0. (10)$$

整理后得到正规方程组:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^n \text{trust}_k - \text{TTV}_j \sum_{k=1}^n t_k - nb = 0, \\ \sum_{k=1}^n \text{trust}_k * t_k - \text{TTV}_j \sum_{k=1}^n t_k^2 - b \sum_{k=1}^n t_k = 0. \end{cases} (11)$$

求解正规方程组便可以得到直线参数值  $\text{TTV}_j$  和  $b$ ,即为:

$$\text{TTV}_j = (n \sum_{k=1}^n t_k * \text{trust}_k - \sum_{k=1}^n \text{trust}_k \sum_{k=1}^n t_k) / (n \sum_{k=1}^n t_k^2 - (\sum_{k=1}^n t_k)^2), (12)$$

$$b = (\sum_{k=1}^n t_k^2 \sum_{k=1}^n \text{trust}_k - \sum_{k=1}^n t_k \sum_{k=1}^n t_k * \text{trust}_k) / (n \sum_{k=1}^n t_k^2 - (\sum_{k=1}^n t_k)^2). (13)$$

则可以得到  $\text{proj}$  的信任度变化趋势值  $\text{TTV}_j$ .

为了本文的研究需要,同时也为了统一不同的信任度变化趋势值范围所带来的计算差异,在计算得到信任度变化趋势值  $\text{TTV}_j$  之后,对它进行归一化的转化,转化公式为:

$$\text{TCV}_i = \frac{\text{TCV}_i - \min \{ \text{TCV}_k \}}{\max \{ \text{TCV}_k \} - \min \{ \text{TCV}_k \}}. (14)$$

可以将信任度值转为到区间 $[0,1]$ 的范围,由于信任度变化趋势值(TTV)反映的是信任度的变化趋势,TTV的高低反映了信任度变化的好坏,所以可以根据 TTV 的值来预测未来信任度的值. TTV 越高,说明该主体的信任度值处于一个递增的状态,反之,则表明该主体由于提供了虚假的信息,使得信任度处于一个下降的趋势.

同时,在选取信任度变化趋势值范围的时候,不同的信任度变化趋势值范围都会归一化到 $[0,1]$ 的区间,所以选取不同的区间,并不会对实验结果有太

大影响,但是为了反映用户的真实信任反馈行为,本文选取了 ebay, Amazon 等电商平台的信任度变化趋势值集中的范围 $[-0.875, 0.875]$ .

## 2 求解量化模型 QoS 值

QoS 描述了一个产品或服务满足消费者需求的能力.可以从很多方面来描述服务质量,如响应时间、执行时间、吞吐量、有效性、可靠性等.他们分别从不同的角度反映了服务性能.本文从响应时间(Time)、费用(Cost)、有效性(Availability)、可靠性(Reliability)等 4 个方面来考虑云服务的 QoS 属性,而其他的因为同样可以根据用户的评价来得到.对于服务性能的计算可以通过用户反馈或者第三方监测机制来计算,如可以通过计时器代码计算信任代理机构中的响应时间的服务质量指标.

假设有一组  $n$  个满足功能性需求的服务,则每组对应 QoS 属性的向量设定为:  $\mathbf{Q}_j = (q_t, q_c, q_a, q_r)$   $j=1, 2, 3, \dots, n$ ,  $q_t, q_c, q_a, q_r$  分别表示  $j$  服务资源相应的响应时间、费用、有效性以及可靠性.又因为这几个属性之间的数值跨度比较大,所以需要对所有 QoS 属性进行归一化的转换.其中  $q^+, q^-$  分别表示正负 QoS 属性归一表示之后的值,它们的归一转换方式分别是:

$$q^- = \begin{cases} \frac{q^{\max} - q}{q^{\max} - q^{\min}}, & q^{\max} - q^{\min} \neq 0, \\ 1, & q^{\max} - q^{\min} = 0, \end{cases} (15)$$

$$q^+ = \begin{cases} \frac{q - q^{\min}}{q^{\max} - q^{\min}}, & q^{\max} - q^{\min} \neq 0, \\ 1, & q^{\max} - q^{\min} = 0. \end{cases} (16)$$

式(15)表明属性与性能呈负相关,即属性值越大,性能越差,比如响应时间,费用等;式(16)表示属性与性能呈正相关,即属性值越大,性能越好,比如可靠性等.  $q^{\max}, q^{\min}$  分别表示该属性组中的最大值、最小值.则 QoS 的值可以通过各属性进行线性加权得到:

$$Q = w_1 * q_t + w_2 * q_c + w_3 * q_a + w_4 * q_r. (17)$$

式中:  $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ , 分别代表各属性的权值,可以通过根据用户的需求自行设定.

## 3 基于信息熵的最优服务选择策略

云计算环境下的最优服务选择不仅和 QoS 值

有关,还和用户反馈的信任度值有密切关系,信任度值是用户对于服务质量的全面反映,以往的研究中仅仅从纯 QoS 的角度来分析,有的虽然考虑了信任度值,但是也只是考虑交互过程的信任度,将信任度量化为一个单一的 QoS 值,缺少对服务可信度的深入研究. 本文认为对于最优云服务选择应该结合信任度与 QoS 两个方面同时考虑,仅考虑任何单方面都不合理. 同时针对现有的研究中只是将信任度量化成一个单一的数值来进行信任度的评估,不能很好地反映信任度随时间变化的问题,本文将信任度变化趋势值(TTV)融入到服务选择的计算过程中,并且结合信息熵的概念来确定信任度和 QoS 之间的参数权重,从而得到最优的服务选择策略.

信息熵是用于度量信息量的一个概念,常被用于较粗略地给出信息的不确定性度量值. 信息熵在事件发生之前,它是结果不确定性的量度,在事件发生之后,它是从该事件中所得到的信息量度. 因此,事件的信息熵既是一个事件信息量的量度,又可包含为事件本身中的相关信息<sup>[12]</sup>.

根据信息熵的计算原理,服务质量  $QoS_j$  所确定的信息熵为:

$$H(QoS_j) = -QoS_j \log QoS_j - (1 - QoS_j) \log (1 - QoS_j). \quad (18)$$

信任度值所确定的信息熵为:

$$H(CT(\text{pro}_{r_k}^j)) = -CT(\text{pro}_{r_k}^j) \log CT(\text{pro}_{r_k}^j) - (1 - CT(\text{pro}_{r_k}^j)) \log (1 - CT(\text{pro}_{r_k}^j)). \quad (19)$$

则可以确定服务质量  $QoS_i$  的权值  $\delta_1$ :

$$\delta_1 = H(QoS_j) / (H(QoS_j) + H(CT(\text{pro}_{r_k}^j))). \quad (20)$$

而信任度值的权值  $\delta_2 = 1 - \delta_1$ .

其中,  $CT(\text{pro}_{r_k}^j)$  意味着主体  $j$  可信度的高低,而  $1 - CT(\text{pro}_{r_k}^j)$  表示不可确定性成分;  $QoS_j$  为主体  $j$  的服务质量评价,而  $1 - QoS_j$  表示为其服务质量中的不确定性成分.

比如某服务主体的(服务质量,信任度值)分别为(0.6,0.8),那么它们的信息熵分别为(0.9708,0.7205),则两者的权重指标分别为:0.426,0.574,具体见表1.

在计算得到权值之后,根据 TTV<sub>j</sub> 值对计算得到的信任度值进行趋势化的修正,使得信任度值能

够更加准确地反映服务提供商的信任度,根据信任度变化趋势值,其修正公式如式(21):

$$\overline{CT(\text{pro}_{r_k}^j)} = \begin{cases} CT(\text{pro}_{r_k}^j) + (1 - CT(\text{pro}_{r_k}^j)) \times TTV_j & TTV_j > 0.5, \\ CT(\text{pro}_{r_k}^j) & TTV_j = 0.5, \\ CT(\text{pro}_{r_k}^j) * e^{TTV_j - 0.5} & TTV_j < 0.5. \end{cases} \quad (21)$$

表1 信息熵以及权重计算

Tab. 1 Calculation of the information entropy and weight

指标	服务质量	信任度值
值	0.6	0.8
1-值	0.4	0.2
信息熵	0.9708	0.7205
权重	0.426	0.574

当归一化的信任度变化趋势值 TTV<sub>j</sub> 等于 0.5 时,我们知道这时候信任度值的变化处于一个相对稳定的状态,则并不对信任度值做改变,当 TTV<sub>j</sub> 的值大于或者小于 0.5 时做不同的处理,是为了惩罚其中有的服务提供商的虚假信息所导致的信任度变化趋势下降的情况,而其中信任度变化趋势值的递增的情况则将信任度值做适当递增处理. 根据修正后的信任度值、QoS 值以及信息熵确定其计算权值,得到最优服务选择的综合值:

$$\Delta = \delta_1 * QoS_j + \delta_2 * \overline{CT(\text{pro}_{r_k}^j)}. \quad (22)$$

下面给出基于信任度变化趋势值的云服务选择策略过程:

1) 服务中介(service broker)收到服务使用者(user<sub>i</sub>)提出的服务选择请求.

2) 服务中介通过分析服务请求,选择满足用户功能性需求的服务提供商(pro<sub>j</sub>).

3) 根据式(7),服务使用者通过直接信任度值以及间接信任度值得到综合的信任度值.

4) 根据式(8),拟合得到服务提供商的信任度变化趋势值 TTV.

5) 根据式(17)得到总体的服务质量的量化 QoS 值以及公式(21)对信任度值进行修正,并且通过信息熵计算得到相应的权值.

6) 根据式(22)可以得到最优服务选择的总体评价价值.

7) 选择具有最大总体评价价值的服务提供商作为

服务选择的最优选择  $P$ .

#### 4 模拟实验以及结果分析

通过模拟实验来验证本文提出的基于信任度变化趋势的云服务选择模型的效果. 实验运行在云仿真软件 CloudSim3.0<sup>[13]</sup>上, CloudSim 是一个通用、可扩展的新型仿真框架, 支持无缝建模和模拟, 在基于特定的环境和配置下, 通过扩展其基本功能, 能进行云计算基础设施和管理服务的实验.

CloudSim 在模拟开始时, 首先需要创建数据中心(Datacenter), 在数据中心中创建 CPU、内存等资源, 则可以通过 CIS(Cloud Information Service)将用户请求映射到合适的服务提供商(DatacenterBroker), 根据服务选择策略进行资源分配. 模拟的主要过程: 初始化 CloudSim 包—>启动仿真—>资源注册以及用户到任务的映射—>CIS 类查询信息中心—>计算信任度变化趋势值以及信任度值—>根据设定的服务选择策略匹配最优资源—>返回最优结果—>仿真结束. 运行环境为基于 java 开发的 Eclipse 集成开发平台, CloudSim 仿真程序运行在 Intel 奔腾双核 G630, 2.7 GHz, 2 GB 内存、Windows 7 32 位操作系统的台式机上.

本实验根据服务提供商 SP 的信任度变化趋势值不同, 将 SP 分为 3 大类:

1) A 类主体: SP 的信任度变化趋势是单调递增的, 比如由于技术质量的改进使得信任度值逐渐增加.

2) B 类主体: SP 的信任度变化趋势是相对稳定的, 也就是说该类 SP 提供了稳定的云服务功能, 具有较好的信任度.

3) C 类主体: SP 的信任度变化趋势是单调递减的, 比如 SP 提供了虚假的功能描述的云服务产品, 导致了信任度值的递减.

为了进行度量比较, 设定了两个试验指标: 成功率以及预测成功率.

**定义 4** 在一定的时间间隔  $T$  内, CloudSim 仿真器中 CIS(Cloud Information Service)根据选择策略, 提供给所有 SC 的服务提供商的数目  $N$ , 其中与 SC 成功达成交互的 SP 数目为  $S$  (这里指没有欺诈行为), 则成功率为:

$$\theta = \frac{S}{N} \times 100\%. \quad (23)$$

式中:  $\theta$  为网络节点间的平均合作程度.

**定义 5** 在一定的时间间隔  $T$  内, CloudSim 仿真器中 CIS 根据选择策略, 提供给所有 SC 的服务提供商的数目  $N$ , 碰到过节点恰巧在黑名单中的情况, 或者在交互过程中遇到了欺骗行为, 两种情况的总次数和为  $M$ , 则模型的预测成功率为:

$$\varphi = \frac{N - M}{N} \times 100\%. \quad (24)$$

式中:  $\varphi$  能够反映出模型对于下一步的预测能力.

在验证试验中, 假定云环境下 SP 主体的个数 500, SC 主体的个数 100, 各虚拟机的信任度值开始随机产生, 服务选择策略输入参数 CloudletNum, vmNum, num\_user,  $\alpha, \beta, \omega_i$  参数说明见表 2.

表 2 模拟试验参数说明  
Tab. 2 Parameters of simulation

参数	缺省值	描述
运行参数	CloudletNum	100 任务总数
	vmNum	500 SP 总个数
	num_user	100 SC 总个数
算法参数	$\alpha, \beta$	信任度权值
	$\omega_i$	QoS 权值参数

表中: CloudletNum 表示 CloudSim 仿真环境中用户请求的任务总数, 来自不同用户的任务相对独立; vmNum 是虚拟机的数目; num\_user 表示的是用户的数目;  $\alpha, \beta$  分别为直接信任度权值和推荐信任度权值, 每组的数据结果都是在分别进行 10 次后取平均值.

**实验 1** 在云环境下, 服务资源的本质是高度动态变化的. 假定某一服务资源  $r_j$  是恶意的, 但是该资源可能为了掩护其重要的服务交易, 在前期的交易中, 该资源一直提供较好的服务质量建立良好的信任度, 经过一段时间后, 服务提供商为了降低成本, 降低了服务质量的标准, 但是由于前期信任度的建立使得不良的后期服务有较高的信任度值. 所以很有必要引入信任度时间衰减机制, 当中间一段时间没有进行交易, 信任度值会随着时间而递减, 同样设定一个衰减常数, 可以根据不同服务类型来设定可信度衰减快慢, 当服务发生在恶意时间段内, 可以设定较大的衰减常数. 图 1 给出了不同衰减常数下信任度值的衰减情况, 实验表明衰减参数越大, 其衰减的速度越快.

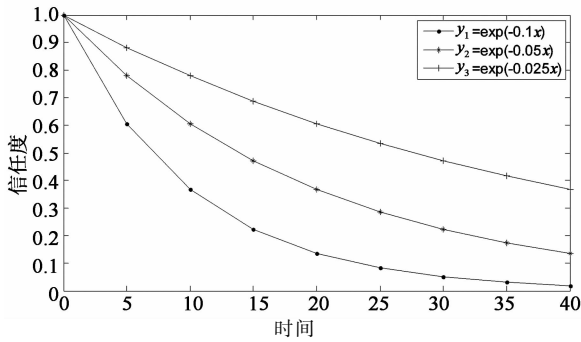


图1 不同衰减常量λ信任度变化情况  
Fig.1 Change of trust under different λ

**实验2** 图2给出了3类服务提供者在服务主体交互过程中可信度的变化情况.从图中可以看出A类变化趋势递增的SP随着交互次数的增多,其可信度一直都保持增长的趋势;B类SP的可信度随着交互次数的增加而增长,但是当达到一定水平时,它就会处于一个相对稳定的状态.C类服务主体开始随着交互次数增加,信任度值也随着增加,虽然C类主体前期保持了较高的信任度值,但是由于提供了虚假的服务,使得后期的信任度递减,最终导致信任度值处于一个较低的水平.

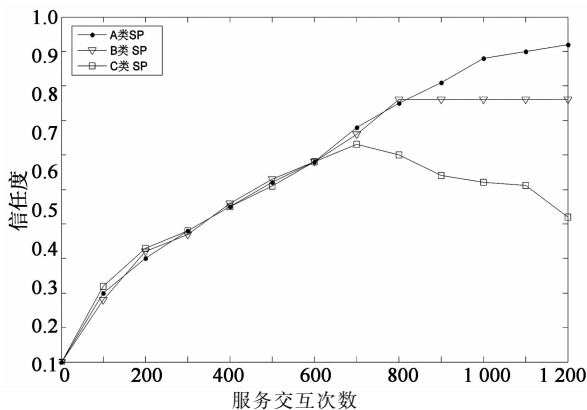


图2 3类SP随交互过程的信任度变化情况  
Fig.2 Change of trust among 3 class SP

**实验3** 图3为基于信任度变化趋势的服务选择方法、基于信任度的服务选择方法以及未基于信任度的服务选择方法3种策略交易成功率的比较,前两者都将信任度作为服务选择的一个指标,所以其成功率较后者有较大的优势.但同时基于信任度变化趋势的服务选择方法一直保持一个更好地增长趋势,这是因为它 TTV 能够有效地反映信任度变

化趋势,具有预测的能力,所以在一定程度上能够过滤掉虚假的信息,从而提高了服务选择的成功率,服务选择的效果也更好.

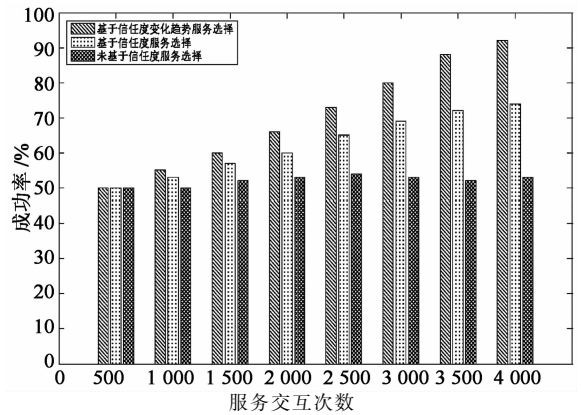


图3 服务选择成功率比较  
Fig.3 Comparison of successful transaction rate

**实验4** 图4为基于信任度变化趋势的服务选择、基于信任度的服务选择、未基于信任度服务选择3种方法之间预测成功率的比较,由于基于信任度变化趋势的选择方法中 TTV 值能够体现出信任度随着时间的变化情况,对于服务选择具有一定的预测能力,所以预测成功率一直呈现一个相对稳定的增长状态,而基于信任度服务选择方法在预测成功率达到一定水平后不再变化,这是由于基于信任度的服务选择方法不含信任变化趋势值 TTV,缺少了持续的预测能力.基于信任度服务选择的方法由于其没有对信任度因素的考虑,所以在选择时有很大的盲目性,导致了预测成功率呈锯齿状发展.实验结果表明了本文提出的基于信任度变化趋势的模型有力地提高服务选择的预测能力.

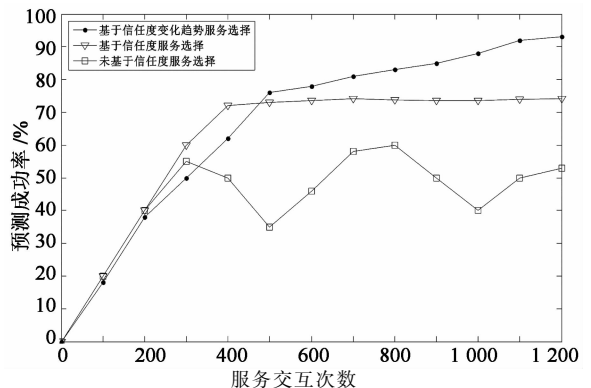


图4 服务选择预测成功率比较  
Fig.4 Comparison of predicted successful transaction rate

## 5 结 语

在云计算环境下,本文针对服务使用者对服务资源有可信需求,但是服务资源信任度参差不齐导致用户很难获得高质量的云服务的问题,提出了一种基于信任度变化趋势的云服务选择模型,避免了虚假服务的误选.并且依据提出的信任度变化趋势值,提高了对服务选择的预判能力,增加了云服务选择的准确性.在此基础上引入了信息熵的概念,避免了以往研究只是对可信参数进行简单加权分析的缺点,有效地提高了服务选择的成功率.实验分析表明该方法能够较好地满足用户在服务选择时对于服务质量和信任度的需求.本文是在其云环境下海量交互的前提下提出的,这样会有一个相对准确的变化趋势.在下一步的工作中,我们将考虑研究对于在不同的时段信任度变化趋势值对于云服务选择的影响以及异构云服务间组合的问题.

## 参考文献

- [1] WANG Shang-guang, SUN Qi-bo, ZOU Hua, *et al.* Particle swarm optimization with skyline operator for fast cloud-based web service composition [J]. *Mobile Networks and Applications*, 2013, 18(1):116–121.
- [2] ZHANG Xu-yun, DOU Wan-chun. Preference-aware QoS evaluation for cloud web service composition based on artificial neural networks[J]. *Web Information Systems and Mining*, 2010, 18(1):116–121.
- [3] 胡春华,刘济波,刘建勋,等.云计算环境下基于信任演化及集合的服务选择[J].*通信学报*,2011,32(7):71–79.  
HU Chun-hua, LIU Ji-bo, LIU Jian-xun, *et al.* Services selection based on trust evolution and union for cloud computing [J]. *Journal on Communications*, 2011, 32(7):71–79. (In Chinese)
- [4] 马友,王尚广,孙其博,等.一种综合考虑主客观权重的 Web 服务 QoS 度量算法[J].*软件学报*,2014,25(11):2473–2485.  
MA You, WANG Shang-guang, SUN Qi-bo, *et al.* Web service quality metric algorithm employing objective and subjective weight[J]. *Journal of Software*. 2014, 25(11): 2473–2485.
- [5] SARBJEET S, DEEPAK C. Trust evaluation in cloud based on friends and third party's recommendations [C]// *RAECS Conference*. Panjab University Chandigarh: IEEE, 2014:1–6.
- [6] DAS A, ISLAM M M, *et al.* Secured trust: a dynamic trust computation model for secured communication in multi-agent systems[J]. *EEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 2012,9(2):261–274.
- [7] ZHOU Ao, WANG Shang-guang, SUN Qi-bo,*et al.* Dynamic virtual resource renting method for maximizing the profits of a cloud service provider in a dynamic pricing model [C]// *International Conference on Parallel and Distributed Systems*. Seoul:IEEE,2013:118–125.
- [8] 曹洁,曾国荪,姜火文,等.云环境下服务信任感知的可信动态级调度方法[J].*通信学报*,2014,35(11):40–49.  
CAO Jie, ZENG Guo-sun, JIANG Huo-wen, *et al.* Trust-aware dynamic level scheduling algorithm in cloud environment [J]. *Journal on Communications*, 2014, 35(11):40–49. (In Chinese)
- [9] 张琳,刘正邦,王海艳,等.一种支持行为的可用于信息服务的动态信任监控模型[J].*南京邮电大学学报*,2013,33(1):68–73.  
ZHANG Lin, LIU Zhang-bang, WANG Hai-yan, *et al.* Dynamic trust monitoring model supporting behavior in information services [J]. *Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications*, 2013, 33(1):68–73. (In Chinese)
- [10] ABAWAJY J. Determining service trustworthiness in inter-cloud computing environments [C]// *Proceedings of the 2009 10th International Symposium in Pervasive Systems, Algorithms, and Networks*. National Cheng Kung University: IEEE, 2009:784–788.
- [11] JOSANG A, ISMAIL R. The beta reputation system [C]// *Bled Electronic Commerce Conference*. Bled Slovenia: IEEE, 2002:324–337.
- [12] 黄英杰,姚锡凡,古耀达.基于熵的混合粒子群算法在柔性调度中的应用[J].*湖南大学学报:自然科学版*,2012,39(3):48–52.  
HUANG Ying-jie, YAO Xi-fan, GU Yao-da. Hybrid particle swarm optimization based on entropy for flexible job shop scheduling problems[J]. *Journal of Hunan University: Natural Sciences*, 2012, 39(3):48–52. (In Chinese)
- [13] RAHUL M, PRINCE J. Study and comparison of CloudSim simulators in the cloud computing[J]. *The SIJ Transactions on Computer Science Engineering & its Applications*, 2013, 1(4):111–115.