

# 基于 ELECTRE 法的云服务选择<sup>①</sup>

李小林<sup>1</sup>, 张力娜<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(咸阳师范学院 计算机学院, 咸阳 712000)

<sup>2</sup>(咸阳师范学院 数学与信息科学学院, 咸阳 712000)

**摘要:** 越来越多的云服务为消费者提供了广泛的选择, 使云服务选择成为一个具有挑战性的决策问题, 这需要使使用恰当的决策方法, 协助决策者选择最好的服务以满足用户的需求. 本文提出一个云服务选择方法, 给出了云服务的服务质量 (Quality of Service, QoS) 的描述形式. 引入了 ELECTRE 的排序方法, 该方法通过建立一致性矩阵和矛盾性矩阵来获得各个服务的的优先级别关系. 最后, 通过实例验证了该算法的有效性.

**关键词:** 云服务; 服务质量; ELECTRE; 服务选择

引用格式: 李小林, 张力娜. 基于 ELECTRE 法的云服务选择. 计算机系统应用, 2017, 26(11): 288-291. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/5897.html>

## Cloud Service Selection Based on ELECTRE Method

LI Xiao-Lin<sup>1</sup>, ZHANG Li-Na<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Department of Computer, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China)

<sup>2</sup>(Department of Mathematics and Information Science, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China)

**Abstract:** The growing number of cloud services has made service selection a challenging decision-making problem by offering wide ranging choices for cloud service consumers. This necessitates the use of appropriate decision making methodologies to assist a decision maker in selecting the service that best fulfills the user's requirements. In this paper, we present a cloud service description form of quality of service, and present a cloud service selection methodology. The method of ELECTRE is introduced, which establishes the consistency matrix and the contradiction matrix to obtain the priority relation of each service. Finally, the algorithm is verified by an example.

**Key words:** cloud service; quality of service; ELECTRE; service selection

由于技术以及经济效益的需求, 近年来云计算日益流行. 活跃在市场上的许多云供应商提供各种形式的服务资源, 如基础架构即服务 (IaaS), 平台即服务 (PaaS) 和软件即服务 (SaaS) 的解决方案. 由于其敏捷性和灵活性, 云计算模式比传统计算模式更具有商业优势, 这不仅激发了商业组织开发新的应用程序在云上, 同时也迁移他们的现有业务应用到云上. 据 IDC 表明, 云计算和相关服务市场在未来 5 年将保持高速增长, 年复合增长率为 25%.

尽管云计算为我们带来了应用机会, 但它也带来了一些新的挑战, 如服务质量 (QoS) 的管理, 包括

数据安全、隐私等问题. 许多服务提供商提供了相似的云服务, 但是它们有着不同的价格和性能, 为了最大限度的利用云服务的潜在计算能力, 如何保证云服务使用者特定的需求能被云服务供应商所匹配成为一个关键的问题. 由于云服务的动态特性以及每个服务的服务质量不同, 使得按需提供的计算资源有着相当大的波动, 这需要使用合理的决策方法帮助决策者选择最佳的服务以满足用户的需求.

目前, 云服务选择已经成为云计算研究领域的研究热点, 大量的研究工作专注于利用独立的第三方实体帮助用户选择值得信赖的云服务. 独立的第三方实

① 基金项目: 陕西省自然科学基金计划 (2011JE011); 陕西省教育厅专项科研基金 (2013JK1203)

收稿时间: 2016-12-06; 修改时间: 2016-12-19; 采用时间: 2016-12-28

体包括认证中心,注册中心等,他们负责收集消费者反馈的云服务 QoS 信息以帮助新用户进行服务选择. TRUONG 等<sup>[1]</sup>提出了一个框架,通过部署传感器来监测和分析云服务的 QoS 指标,定期报告服务中心节点的运行状态.在小规模的封闭系统中,该框架具有良好适应性,但其难以在部署了大量传感器的开放互联网环境下集成异构云. REHMAN 等<sup>[2]</sup>提出了一种服务选择方法,利用云服务在不同的历史时期的 QoS 和并行执行多标准决策分析对云服务排名.文献<sup>[3]</sup>提出了一种自适应跨云服务组合的服务选择方法,通过动态地选择最佳执行性能的服务以适应服务在时间上的变化.文献<sup>[4]</sup>认为服务选择是一个优化问题,利用 QoS 约束建立了基于粒子群优化的服务选择模型.文献<sup>[5]</sup>将基于服务组合的服务选择建模为一个基于超图理论最优匹配问题,其通过计算超图的最小截线来解决.

客户面对市场中众多的云供应商,需要有一个科学可靠的选择方案.本文通过分析云服务的非功能属性,将其 QoS 属性分为  $Q_{cost}$ ,  $Q_{time}$ ,  $Q_{availability}$ ,  $Q_{reliability}$  和  $Q_{reputation}$ , 然后引入 ELECTRE 的排序方法,对云服务进行了综合排序供用户选择.

## 1 云服务 QoS 描述

云服务是利用一组标准实现 SOA 架构模式的服务,是 Web 服务中一个特定的服务领域.我们可以基于 Web 服务 QoS 的评价角度出发对云服务 QoS 进行评价研究.通过研究国内外对于 Web 服务 QoS 的研究成果,将云服务 QoS 进行如下形式化描述:

(1)  $CS = \{cs_1, cs_2, \dots, cs_n\}$ , 表示一组功能相似,但具有不同 QoS 属性值的云服务集合.

(2) 本文将云服务的非功能属性 QoS 建模为  $CS_{QoS} = \{Q_{cost}, Q_{time}, Q_{availability}, Q_{reliability}, Q_{reputation}\}$ .

$Q_{cost}$  代表用户调用云服务时必须支付的费用,进一步分为虚拟机费用,存储费用和带宽费用,  $Q_{cost} = c_{vm} + c_{st} + c_{bw}$ ,  $c_{vm}$  代表虚拟机费用;  $c_{st}$  代表存储费用;  $c_{bw}$  代表带宽费用.

$Q_{time}$  代表响应时间,即用户调用云服务时,从发出调用请求到云服务将执行结果反馈给用户所需的时间.  $Q_{time} = t_{process} + t_{trans}$ ,  $t_{trans}$  代表传输时间,  $t_{process}$  代表服务执行时间.

$Q_{availability}$  代表服务可用性,表示一个云服务可被访问的概率.可用性可以用以下公式计算:

$$Q_{availability} = A/M$$

$M$  表示云服务请求者在某段时间内请求访问服务  $cs$  的次数,  $A$  代表成功访问服务  $cs$  的次数.该值取值范围为  $0 \dots 1$ , 其取值越大,代表可用性越高.

$Q_{reliability}$  代表服务的可靠性,表示在给定的条件和时间内,云服务能够成功执行的概率.云服务请求者和云服务提供者的网络连接以及云服务的软硬件配置决定了可靠性的大小.可靠性用如下公式计算:

$$Q_{reliability} = R/N$$

$R$  表示在最大预期的时间内云服务被成功执行次数,  $N$  代表总的调用次数.

$Q_{reputation}$  代表服务声誉,即用户调用云服务后,对云服务可信程度的评价.该值适合表示为语言型数据,例如:高.在调用云服务后,用户给服务声誉一个语言型的评价,是集合  $S = \{\text{高, 较高, 一般, 较低, 低}\}$  中的一个元素,将其转化映射为集合  $\{5, 4, 3, 2, 1\}$  中的一个数.规定数值越大其对应的服务声誉越高.

## 2 基于 ELECTRE 的服务评价

淘汰选择法 (Elimination Et Choice Translating Reality, ELECTRE 法) 是 Roy 等人提出的. ELECTRE 法由方案相互比较构成,并基于方案评价和偏好权重的一致和冲突方案间的相互比较占优关系程度.它检查偏好权重与相互占优关系的符合程度以及加权的评价间的不同程度.级别优先关系的建立是在一致性和矛盾性集合上的,因此也称为一致性分析.基于 ELECTRE 法的云服务选择方法如下:

1) 建立云服务 QoS 决策矩阵.假设现有  $n$  个功能相似的云服务  $CS = \{cs_1, cs_2, \dots, cs_n\}$ , 对于每个服务,其服务质量向量都是 5 元组  $CS_{QoS} = \{Q_{cost}, Q_{time}, Q_{availability}, Q_{reliability}, Q_{reputation}\}$ .  $n$  个服务的 QoS 属性可以构成一个决策矩阵  $Q = (q_{ij})_{n \times 5}$ :

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{15} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{25} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{n5} \end{bmatrix}$$

其中,  $q_{ij}$  表示第  $i$  个云服务的第  $j$  个 QoS 属性的取值.

2) 将决策矩阵标准化处理.由于各个 QoS 指标的单位 and 评价方法不同,即它们的量纲和数量级也可能不同.最常见的指标类型有效益型指标、成本型指标.

效益型指标是指标值越大越好的指标;成本型指标是指标值越小越好的指标。 $Q_{cost}$  和  $Q_{time}$  属性,它们值越大对于整体的服务质量贡献越小,该类指标为成本型。 $Q_{availability}$ ,  $Q_{reliability}$  和  $Q_{reputation}$ , 它们的值越大对整体服务质量的贡献越大,该类指标为效益型。为了将各个 QoS 属性转换为可以比较的形式,消除量纲效应,需要对决策矩阵标准化处理。标准化决策矩阵  $R$  中的标准化值  $r_{ij}$  计算为:

$$r_{ij} = \frac{q_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n q_{ij}^2}}, R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{25} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{n5} \end{bmatrix}$$

3) 计算加权决策矩阵。设第  $j$  个 QoS 属性的权重为  $w_j$ , 且  $\sum_{j=1}^5 w_j = 1$ 。加权决策矩阵  $V$  通过矩阵  $R$  每列与相应的 QoS 权重  $w_j$  的乘积得到。

$$V = RW = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_5 r_{15} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_5 r_{25} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_1 r_{n1} & w_2 r_{n2} & \cdots & w_5 r_{n5} \end{bmatrix},$$

其中,  $W = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5\}$ 。

QoS 属性权重计算方法可采用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process 简称 AHP), 具体细节可参考文献[6], 本文不再赘述。

4) 确定一致集和矛盾集, 即获取各个云服务的优势和劣势集合。将矩阵  $V$  中任意 2 个不同行进行对比, 如果第  $k$  列中第  $i$  行的  $v_{ik}$  比第  $j$  行  $v_{jk}$  值偏好程度高, 则  $k$  归类于一致集  $C_{ij}$ , 否则归类于矛盾集  $D_{ij}$ 。如果 QoS 属性是效益型指标, 则  $v$  值越高, 偏好程度越高, 如果 QoS 属性是成本型指标, 则  $v$  值越低, 偏好程度越低。

$$C_{ij} = \{k | v_{ik} \geq v_{jk}\}, k = 1, 2, \dots, 5$$

$$D_{ij} = \{k | v_{ik} < v_{jk}\}, k = 1, 2, \dots, 5$$

5) 计算一致矩阵  $C$ 。一致集的相对值用一致性指标度量。一致性指标等于一致集中包含的准则相关权重的和与所有准则权重的和的比值, 其代表了某个方案  $a_i$  相对于另一个方案  $a_j$  的重要程度。

$$C = [c_{ij}]_{n \times n}, c_{ij} = \frac{\sum_{k \in C_{ij}} w_k}{\sum_{k=1}^5 w_k}.$$

6) 计算矛盾矩阵  $D$ 。QoS 属性劣势集中的标号所对应的两个方案的加权价值之差中的最大值除以所有

目标 QoS 属性的两个方案的加权价值之差中的最大值, 即得到矛盾性指标  $d_{ij}$ 。  $d_{ij}$  反映了某个方案  $a_i$  相对于另一方案  $a_j$  的劣势程度,  $d_{ij}$  值越小意味着对于所有劣势指标而言,  $a_i$  越优于  $a_j$ 。

$$D = [d_{ij}]_{n \times n}, d_{ij} = \frac{\max_{k \in D_{ij}} \{v_{ik} - v_{jk}\}}{\max_{k \in S} \{v_{ik} - v_{jk}\}}, S = \{1, 2, \dots, 5\}.$$

为与一致矩阵的偏好程度趋向一致, 将矛盾矩阵进行修正, 修正方法如下:

$$D' = [d'_{ij}]_{n \times n}, d'_{ij} = 1 - d_{ij}$$

7) 求修正型加权合计矩阵  $E$

由于将矛盾矩阵加以修正, 使得修正后的矛盾矩阵中的元素和一致性矩阵中的元素一样, 其值越大, 代表偏好程度越高。因此可以利用一致性矩阵和修正后的矛盾矩阵中对应位置的元素相乘便可得到修正型加权合计矩阵  $E$ [7]。

$$E = [e'_{ij}]_{n \times n}, e_{ij} = c_{ij} \cdot d'_{ij}$$

8) 求净优势值  $C_k$

$$C_k = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n e_{ki} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n e_{jk}, k = \{1, 2, \dots, n\}$$

其中  $C_k$  为方案  $a_k$  对其他方案的加权合计优势之和减去其他方案相对方案  $a_i$  的加权合计优势之和, 反映了方案的加权合计净优势。  $C_k$  越大, 说明方案  $a_k$  越优[7]。

9) 根据各方案的加权合计净优势值进行排序, 可以得到最终各方案由优到劣的排序。

### 3 实例验证

在云服务选择过程中假设遇到四个功能相似的服务 CS, 各云服务的 QoS 属性如表 1。

表 1 云服务 QoS 属性值

CS	Q <sub>cost</sub>	Q <sub>time</sub>	Q <sub>reliability</sub>	Q <sub>availability</sub>	Q <sub>reputation</sub>
CS <sub>1</sub>	40	65	0.95	0.86	较高
CS <sub>2</sub>	45	60	0.94	0.92	一般
CS <sub>3</sub>	50	80	0.82	0.95	一般
CS <sub>4</sub>	35	65	0.95	0.8	高

1) 首先, 根据表 1 构建云服务 QoS 属性决策矩阵  $Q$ 。

$$Q = \begin{pmatrix} 45 & 65 & 0.95 & 0.86 & 4 \\ 45 & 60 & 0.94 & 0.92 & 3 \\ 50 & 80 & 0.82 & 0.95 & 3 \\ 35 & 65 & 0.95 & 0.8 & 5 \end{pmatrix}$$

2) 消除量纲效应,对决策矩阵标准化处理,得到矩阵  $R$ .

$$R = \begin{pmatrix} 0.4666 & 0.4785 & 0.5182 & 0.4862 & 0.5208 \\ 0.5249 & 0.4417 & 0.5127 & 0.5201 & 0.3906 \\ 0.5832 & 0.5890 & 0.4473 & 0.5371 & 0.3906 \\ 0.4083 & 0.4785 & 0.5182 & 0.4523 & 0.6509 \end{pmatrix}$$

3) 计算加权决策矩阵  $V$ . 参考文献[6], 得到各 QoS 属性权重为  $W=(0.28, 0.07, 0.07, 0.12, 0.46)$ .

$$V = RW = \begin{pmatrix} 0.1306 & 0.0335 & 0.0363 & 0.0583 & 0.2396 \\ 0.1470 & 0.0309 & 0.0359 & 0.0624 & 0.1797 \\ 0.1633 & 0.0412 & 0.0313 & 0.0644 & 0.1797 \\ 0.1143 & 0.0335 & 0.0363 & 0.0543 & 0.2994 \end{pmatrix}$$

4) 确定一致集和矛盾集.

$$C_{12}=\{1, 3, 5\}, D_{12}=\{2, 4\}, C_{13}=\{1, 2, 3, 5\},$$

$$D_{13}=\{4\}, C_{14}=\{3, 4\}, D_{14}=\{1, 2, 5\}$$

$$C_{21}=\{2, 4\}, D_{21}=\{1, 3, 5\}, C_{23}=\{1, 2, 3, 5\},$$

$$D_{23}=\{4\}, C_{24}=\{2, 4\}, D_{24}=\{1, 3, 5\}$$

$$C_{31}=\{4\}, D_{31}=\{1, 2, 3, 5\}, C_{32}=\{4, 5\}, D_{32}=\{1, 2, 3\}, C_{34}=\{4\}, D_{34}=\{1, 2, 3, 5\}$$

$$C_{41}=\{1, 3, 5\}, D_{41}=\{2, 4\}, C_{41}=\{1, 3, 5\}, D_{42}=\{2, 4\}, C_{43}=\{1, 2, 3, 5\}, D_{43}=\{4\}$$

5) 计算一致矩阵  $C$ .

$$C = \begin{pmatrix} - & 0.81 & 0.88 & 0.19 \\ 0.19 & - & 0.88 & 0.19 \\ 0.28 & 0.58 & - & 0.28 \\ 0.81 & 0.81 & 0.54 & - \end{pmatrix}$$

6) 计算矛盾矩阵  $D$ .

$$D = \begin{pmatrix} - & 0.0684 & 0.1018 & 1 \\ 1 & - & 0.1227 & 1 \\ 1 & 1 & - & 1 \\ 0.0669 & 0.0677 & 0.0844 & - \end{pmatrix}$$

将矛盾矩阵进行修正, 得到矩阵  $D'$ .

$$D' = \begin{pmatrix} - & 0.9316 & 0.8982 & 0 \\ 0 & - & 0.8773 & 0 \\ 0 & 0 & - & 0 \\ 0.9331 & 0.9323 & 0.9156 & - \end{pmatrix}$$

7) 求修正型加权合计矩阵  $E$ .

$$E = \begin{pmatrix} - & 0.7546 & 0.7904 & 0 \\ 0 & - & 0.7720 & 0 \\ 0 & 0 & - & 0 \\ 0.7559 & 0.7552 & 0.4944 & - \end{pmatrix}$$

8) 求净优势值  $C_k$ .

$$C_1=0.7891, C_2=0.7378, C_3=2.0568, C_4=2.0055$$

最终各方案由优到劣的排序为  $CS_4 > CS_1 > CS_2 > CS_3$ .

可知 4 个云服务 QoS 综合性能排序为:  $CS_4 > CS_1 > CS_2 > CS_3$ . 为了验证该方法的正确性, 对表 1 的原始数

据分别使用 TOPSIS 法, 灰色关联法进行了比较. TOPSIS 法是根据有限个评价对象与理想化目标的接近程度进行排序的方法, 是在现有的对象中进行相对优劣的评价. 灰色关联法是根据对象之间发展趋势的相似或相异程度作为对象间的关联度, 并依据关联度排序. 比较结果如表 2, 表明该方法是正确的.

表 2 三种方法比较

ELECTRE	TOPSIS	灰色关联
CS4	CS4	CS4
CS1	CS1	CS1
CS2	CS2	CS2
CS3	CS3	CS3

## 4 结束语

在本文中, 我们讨论了云服务选择问题, 提出了一种基于 ELECTRE 法的云服务选择框架. 该方法建立一致性矩阵和矛盾性矩阵来获得各个方案的的优先级别关系. 最后该方法和 TOPSIS 法, 灰色关联法进行了比较, 结果表明该方法是正确的.

## 参考文献

- 1 Truong HL, Samborski R, Fahringer T. Towards a framework for monitoring and analyzing QoS metrics of grid services. Proc. of the 2nd IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing. Amsterdam, The Netherlands. 2006. 33-37.
- 2 Rehman ZU, Hussain OK, Hussain FK. Parallel cloud service selection and ranking based on QoS history. International Journal of Parallel Programming, 2014, 42(5): 820-852. [doi: 10.1007/s10766-013-0276-3]
- 3 Yang J, Lin WM, Dou WC. An adaptive service selection method for cross-cloud service composition. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2013, 25(18): 2435-2454. [doi: 10.1002/cpe.v25.18]
- 4 Li WF, Zhong Y, Wang X, et al. Resource virtualization and service selection in cloud logistics. Journal of Network and Computer Applications, 2013, 36(6): 1696-1704. [doi: 10.1016/j.jnca.2013.02.019]
- 5 Wang JL, Ding ZJ, Hou YB. Automatic web services composition algorithm based on optimal matching. Journal of Central South University of Technology, 2011, 18(4): 1169-1177. [doi: 10.1007/s11771-011-0819-y]
- 6 张力娜, 李小林. 一种基于 QoS 偏好的服务选择策略. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2013, 25(6): 807-812. [doi: 10.3979/j.issn.1673-825X.2013.06.019]
- 7 高阳, 陈常青. 一种基于 ELECTRE 排序的简化方法. 统计与决策, 2006, (10): 37-39. [doi: 10.3969/j.issn.1002-6487.2006.10.014]