



## 基于 Slater 社会选择理论的在线服务评价方法

朱明强<sup>1a</sup>, 付晓东<sup>1a,1b,2</sup>, 刘 骊<sup>1a</sup>, 冯 勇<sup>1a</sup>, 刘利军<sup>1a</sup>

(1. 昆明理工大学 a. 信息工程与自动化学院; b. 航空学院, 昆明 650500;

2. 云南省计算机技术应用重点实验室, 昆明 650500)

**摘 要:** 不同用户对于同一在线服务会有不一致的评价标准和偏好, 导致其对服务的评分不具备可比性, 使用户难以准确选择适合的在线服务。针对该问题, 引入 Slater 社会选择理论提出一种新的在线服务评价方法。对稀疏的评分矩阵进行填充, 通过用户对服务评分的相互比较结果, 构建以服务为节点、以优先关系为有向边的有向图, 并根据其中相似集、前集、后集之间以及内部节点有向边的指向关系, 判断所有节点的指向关系及排序, 形成服务评价结果。实验结果表明, 该方法较 Sum 法、Average 法和 Copeland 法抗操纵性更强, 可避免少数用户操控评价结果, 并且其符合孔多塞准则, 能够体现多数用户的偏好需求。

**关键词:** 在线服务; 社会选择理论; Slater 方法; 有向图; 孔多塞准则

开放科学(资源服务)标志码(OSID):



**中文引用格式:** 朱明强, 付晓东, 刘骊, 等. 基于 Slater 社会选择理论的在线服务评价方法[J]. 计算机工程, 2020, 46(2): 126-133.

**英文引用格式:** ZHU Mingqiang, FU Xiaodong, LIU Li, et al. Online service evaluation method based on Slater social choice theory[J]. Computer Engineering, 2020, 46(2): 126-133.

## Online Service Evaluation Method Based on Slater Social Choice Theory

ZHU Mingqiang<sup>1a</sup>, FU Xiaodong<sup>1a,1b,2</sup>, LIU Li<sup>1a</sup>, FENG Yong<sup>1a</sup>, LIU Lijun<sup>1a</sup>

(1a. Faculty of Information Engineering and Automation; 1b. Faculty of Aeronautics,

Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. Yunnan Provincial Key Laboratory of Computer Technology Applications, Kunming 650500, China)

**[Abstract]** Different users have different evaluation criteria and preferences for the same online service, making their ratings for services incomparable, so users cannot easily select suitable online services. To address the problem, this paper proposes an online service evaluation method based on the Slater Social choice theory. The method fills the sparse rating matrix. It compares user ratings for services to construct a directed graph with services as nodes and preference relations as directed edges. Then it judges points-to relations of all nodes in the graph based on the points-to relations between the similar set, the front set and the later set, as well as points-to relations of directed edges of internal nodes. Thus the order of all nodes can be obtained to generate a service rating result. Experimental results show that compared with Sum, Average and Copeland methods, the proposed method can better avoid a few users manipulating the ratings. The proposed method also conforms to the Slater criteria and can reflect the preference needs of most users.

**[Key words]** online service; social choice theory; Slater method; directed graph; Condorcet criterion

**DOI:** 10.19768/j.issn.1000-3428.0053354

### 0 概述

在线服务是指利用互联网技术向用户提供线上服务的方式。随着现代互联网技术的飞速发展, 在线

服务已经在电子商务、在线娱乐等领域得到广泛应用。然而, 互联网的发展使得在线服务的种类和数量迅速增加, 同时不同用户对在线服务质量的要求也不尽相同, 尤其是当用户面对较多功能相似或者相同的

**基金项目:** 国家自然科学基金(61462056); 云南省应用基础研究计划项目(2014FA028)。

**作者简介:** 朱明强(1994—), 男, 硕士研究生, 主研方向为服务计算、决策理论与方法; 付晓东(通信作者), 教授、博士; 刘 骊、冯 勇, 副教授、博士; 刘利军, 讲师。

**收稿日期:** 2018-12-10

**修回日期:** 2019-04-08

**E-mail:** xiaodong\_fu@hotmail.com

在线服务时,难以做出正确的服务优劣决策<sup>[1]</sup>。用户在选择满足自身偏好的在线服务时,由于服务的种类和数量非常多,因此不可能选用所有的服务,也不可能对所有的在线服务进行评价,从而导致评分数据的不完整性。此外,用户根据自己的评价标准对服务进行评价,往往存在一些主观因素,有的倾向给予高分评价,有的倾向给予低分评价,使得评价数据可信度降低。同时,某些服务提供者为了提高服务的影响力,可能向用户提供不真实的信息,也可能出现互刷服务好评的情况。上述存在的问题使得用户难以从大量服务中方便快捷地选择适合的在线服务。因此,需要一种客观的在线服务评价方法,通过该方法得到的在线服务评价结果,必须能够保证对在线服务评价的真实性和可靠性。

在用户使用在线服务的过程中,由于不同的用户具有不同的消费心理、消费背景等,致使其偏好以及评价准则不一致,对同一个服务的评价可能出现矛盾和冲突<sup>[2-3]</sup>。由于不同用户对服务进行评价时具有不一致的评价准则,即使对于同一服务的满意度一致,对该服务进行评分时,评分值也可能不尽相同,从而导致无法对服务进行公正的优劣比较;另一方面,某些服务提供者为了提高自身的信誉,向用户提供不真实的服务信息,更有甚者雇佣“用户”对其所出售的在线服务给予较高的评分,从而达到操纵服务信誉的目的<sup>[4]</sup>,给用户决策带来误导,使其不能准确选择适合自身偏好的在线服务。

本文提出一种基于 Slater 社会选择理论的在线服务评价方法,利用 Slater 方法将不同用户对服务的评分转化为偏好矩阵,并形成以服务为节点、以优先关系为有向边的有向图,最终得到在线服务排序,解决用户对服务评分不可比较的问题。

## 1 相关研究

### 1.1 基于评分的在线服务评价

文献[5]指出,实际应用中研究者多数是通过平均值法与累加法计算获取最终的评价值。均值法将用户对服务的所有评分进行求和,然后除以该服务被评分的总次数,从而得到服务的平均评分,对该平均评分进行排序,并将其作为用户对在线服务的评价优劣排序依据。累加法将用户对服务的反馈评分进行分类并统计:当用户评分为4、5时,表示好评总分加1分;当用户评分为3时,表示中评得0分;当用户评分为1、2,表示差评总分减1分,然后对总分进行累加并排序,其排序结果表示服务的优劣排序,并将其作为用户对在线服务的评价优劣排序依据。然而,无论是累加法还是均值法,均未考虑到用户的主观偏好和评价准则不一致的问题,导致其评价结果不能很好地体现用户的偏好需求。文献[6]提出一种基于用户对已购服务评论信息的服务评价方法,

先根据评论信息对在线服务的特有属性进行识别并加以鉴定,再根据每个服务的特有属性对服务进行评分,并据此对在线服务进行排序。文献[7]基于累加法提出一种改进方法,即加权累加法,通过该方法计算的结果更准确。文献[8]提出了一种基于 Copeland 社会选择函数的在线服务评价方法,该方法基于用户对服务的评分,通过比较计算得出的服务评价价值大小对在线服务进行排序。

### 1.2 基于服务属性的在线服务评价

在基于服务属性的在线服务评价研究中:文献[9]综合每个用户的偏好和不同网站对服务各方面信息的描述对服务进行评价;文献[10]基于服务的属性对在线服务进行评价,包括销量、评价、服务描述信息等属性;文献[11-12]将服务的价格、用户对服务的评分、服务的销量以及服务的质量等综合后对在线服务进行综合排序;文献[13]提出一种基于改进熵权的评价方法,该方法将多维度属性以主观、客观权重相结合,最终得到评价结果;文献[14]提出一种基于服务特征的排序技术,先将用户分为熟客和非熟客两组,通过用户的评论信息根据排序列表赋予不同的权重,通过计算得出加权评分表,并根据加权评分表对其进行排序,从而帮助用户制定购买意向。

### 1.3 基于文本的在线服务评价

研究者对服务进行相应的评价并与其他用户相互分享经验,根据用户的评论信息和业务策略对服务进行选择,但并没有考虑用户之间的偏好具有相似性以及用户对服务评价的真实性。文献[12]通过预测每个用户对服务评论的强度,将其聚合后作为评估服务排名的标准。该方法的优点在于用户可以在不搜索所有评论的情况下快速找到想要获得的评论,但只是针对较少用户的评论,并不适合大规模用户对服务的评论。文献[15]提出一个基于客户反馈计算准确评级的框架,将用户的评论作为输入条件,通过信息检索删除所有常用的词,对评论中剩余的词进行标注以及关键词提取,通过概率计算对服务进行排名。

### 1.4 基于推荐系统的在线服务评价

推荐系统是一种个性化的推荐方法。文献[16]提出一种局部最优服务选择模型。该模型选择服务中单个最优的服务并将其组合,然而这种服务组合的结果可能只是局部最优,并不一定是全局最优。文献[17]提出一种服务推荐方法,首先对用户已有评价信息进行分析,挖掘出不可靠的恶意评价信息,然后通过计算用户的可信度删除恶意评价用户。该方法的不足之处在于需要在筛除恶意用户之后,所推荐的服务才会更好地符合用户的偏好需求,而由于在线服务的数量巨大,不可能筛除所有恶意用户的评价信息。

### 1.5 基于信誉系统的在线服务评价

信誉系统是一种群体的推荐方法。文献[18]指出现有信誉系统基本上都是以用户的评价标准相同

为前提,然而,现实中不同用户的评价标准是不可能完全一致的,甚至对同一服务的评价也可能不同。文献[19]提出一种基于聚类的信誉系统,根据评分的系数将用户分为诚实与不诚实,并通过计算得到信誉值,其不足之处在于计算方法比较复杂,不易理解。上述研究多数未考虑不同的用户具有不同的偏好以及不同的评价准则,导致用户对服务之间的评分不可比较。针对该问题,本文选择使用基于社会选择理论<sup>[20]</sup>的思想加以解决,集结所有用户对不同评价对象的评价关系形成群决策结果。本文提出一种基于 Slater 社会选择理论的在线服务评价方法,在无需假设不同用户偏好不一致和评价准则不一致的情况下,将用户对服务的评分转化为以服务为节点、以优先关系为有向边的有向图,最终得出在线服务的排序,实现在用户偏好不一致和评价准则不一致情况下的服务排序。

## 2 基于 Slater 方法的在线服务评价

### 2.1 问题定义

本文对在线服务评价相关问题定义如下:

**定义 1** 用户集合为  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ , 在线服务集合  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ , 其中,  $m$  表示用户的数量,  $n$  表示在线服务的数量。

**定义 2** 用户-服务评分矩阵  $R = [r_{i,j}]_{m \times n}$ , 其中,  $r_{i,j}$  表示用户  $u_i$  对服务  $s_j$  的评分。 $r_{i,j}$  取值为 1~5, 表示用户对服务的喜好程度, 1 表示非常不喜欢, 2 表示不喜欢, 3 表示一般, 4 表示喜欢, 5 表示非常喜欢。若  $r_{i,j} = 0$ , 则表示用户  $u_i$  没有对服务  $s_j$  进行评分。

**定义 3**  $u_i$  表示第  $i$  个用户, 其对在线服务之间评价的偏好关系分为以下情况: 若  $r_{i,j} > r_{i,k}$ , 则  $s_j > s_k$ , 其中  $s_j > s_k$  表示用户  $u_i$  认为服务  $s_j$  优于服务  $s_k$ , 符号“ $>$ ”表示优于; 若  $r_{i,j} = r_{i,k}$ , 则  $s_j \sim s_k$ , 其中  $s_j \sim s_k$  表示用户  $u_i$  认为服务  $s_j$  和服务  $s_k$  不分优劣; 若  $r_{i,j} < r_{i,k}$ , 则  $s_j < s_k$ , 其中  $s_j < s_k$  表示用户  $u_i$  认为服务  $s_k$  优于服务  $s_j$ 。

本文对在线服务评价的总体思想是: 在用户偏好以及评价准则不一致的情况下, 根据用户对在线服务的评分, 首先对稀疏的用户-服务矩阵进行填充, 然后构建以服务为节点、以优先关系为有向边的有向图, 最后通过 Slater 方法<sup>[21]</sup>得到在线服务评价结果。

### 2.2 偏好关系获取

为对在线服务进行评价, 需要获取每个用户对在线服务的评分。由于在线服务的种类和数量非常多, 用户不可能选用所有的服务, 也不可能对所有的在线服务进行评价, 从而导致评分数据的不完整性, 造成用户-服务评分矩阵较为稀疏<sup>[22]</sup>。由于本文是基于用户对服务的两两比较, 因此需要对稀疏的用户-服务矩阵进行填充。目前协同过滤<sup>[23]</sup>是一种常用的推荐方法, 该方法通过寻找与自己偏好最相似

的用户进行推荐, 本文采用协同过滤算法对不完整的用户-服务评分矩阵进行填充。

**定义 4** 基于填充完整的用户-服务矩阵  $R$ , 统计用户  $u_i \in U (i = 1, 2, \dots, m)$  对在线服务  $s_p, s_q \in S (p, q = 1, 2, \dots, n, p \neq q)$  的偏好关系, 构建每一个用户的偏好关系矩阵, 用  $ZH_i = [zh_{pq}(i)]_{n \times n} (p, q = 1, 2, \dots, n, p \neq q)$  表示,  $zh_{pq}(i)$  取值如式(1)所示。

$$zh_{pq}(i) = \begin{cases} 1, & s_{ip} > s_{iq} \\ 0, & s_{ip} = s_{iq} \\ -1, & s_{ip} < s_{iq} \end{cases} \quad (1)$$

其中: 1 表示用户  $u_i$  认为服务  $s_p$  优于  $s_q$  服务; 0 表示用户  $u_i$  认为服务  $s_p$  和服务  $s_q$  具有同等效用; -1 表示用户  $u_i$  认为服务  $s_q$  优于服务  $s_p$ 。

根据每个用户的偏好矩阵  $ZH_i$  统计出  $m$  个用户中  $zh_{pq}(i) = 1$  和  $zh_{qp}(i) = -1$  的用户数进行比较, 如式(2)所示。

$$\begin{cases} s_p > s_q, \sum_{i=1}^m (zh_{pq} = 1) - \sum_{i=1}^m (zh_{qp} = -1) > 0 \\ s_p \sim s_q, \sum_{i=1}^m (zh_{pq} = 1) - \sum_{i=1}^m (zh_{qp} = -1) = 0 \\ s_p < s_q, \sum_{i=1}^m (zh_{pq} = 1) - \sum_{i=1}^m (zh_{qp} = -1) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中:  $\sum_{i=1}^m (zh_{pq} = 1) - \sum_{i=1}^m (zh_{qp} = -1) > 0$ , 表示在服务对  $(s_p, s_q)$  中认为服务  $s_p$  优于服务  $s_q$  的用户数量多于认为服务  $s_q$  优于服务  $s_p$  的用户数量, 即  $s_p > s_q$ ;  $\sum_{i=1}^m (zh_{pq} = 1) - \sum_{i=1}^m (zh_{qp} = -1) = 0$ , 表示在服务对  $(s_p, s_q)$  中认为服务  $s_p$  优于服务  $s_q$  的用户数量等于认为服务  $s_q$  优于服务  $s_p$  的用户数量, 服务  $s_p$  和  $s_q$  不分优劣, 即  $s_p \sim s_q$ ;  $\sum_{i=1}^m (zh_{pq} = 1) - \sum_{i=1}^m (zh_{qp} = -1) < 0$ , 表示在服务对  $(s_p, s_q)$  中认为服务  $s_q$  优于服务  $s_p$  的用户数量多于认为服务  $s_p$  优于服务  $s_q$  的用户数量, 即  $s_q > s_p$ 。

### 2.3 在线服务群体评价排序

为更明确地阐述本文提出的利用 Slater 社会选择理论对在线服务进行评价, 给出相关定义如下:

**定义 5** 根据用户-服务矩阵得到服务-服务矩阵  $TU = [tu_{pq}]_{n \times n} (p, q = 1, 2, \dots, n, p \neq q)$ , 任取 2 个服务对  $s_{p1, q1}, s_{p2, q2} \in S_{p, q}$ , 并且  $tu_{p1, q1} > 0, tu_{p2, q2} > 0$ 。然后根据  $tu_{p1, q1}, tu_{p2, q2}$  进行排序, 并建立服务优先对  $L_{pq}$ , 如式(3)所示。

$$\begin{cases} s_{p1, q1} > s_{p2, q2}, tu_{p1, q1} - tu_{p2, q2} > 0 \\ s_{p1, q1} \sim s_{p2, q2}, tu_{p1, q1} - tu_{p2, q2} = 0 \\ s_{p1, q1} < s_{p2, q2}, tu_{p1, q1} - tu_{p2, q2} < 0 \end{cases} \quad (3)$$

其中:  $tu_{p1, q1} - tu_{p2, q2} > 0$ , 表示在服务优先对  $L_{pq}$  中服务对  $s_{p1, q1}$  排在服务对  $s_{p2, q2}$  之前;  $tu_{p1, q1} - tu_{p2, q2} = 0$ , 表示在服务优先对  $L_{pq}$  中服务对  $s_{p1, q1}$  和服务对  $s_{p2, q2}$

不分前后; $tu_{p1,q1} - tu_{p2,q2} < 0$ ,表示在服务优先对  $L_{pq}$  中服务对  $s_{p2,q2}$  排在服务对  $s_{p1,q1}$  之前。

**定义 6** (有向图)  $G = \langle V, E \rangle$  为有向图,其中: $V$  表示以服务为节点的集合,  $V = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ ;  $E$  表示以  $(s_p, s_q)$  为有向边的集合,  $E = (s_p, s_q) (p, q = 1, 2, \dots, n, p \neq q)$ 。

根据得到的服务优先对  $L_{pq}$ , 将  $L_{pq}$  中的优先关系视为有向图中边的指向关系, 如  $L_{pq} : (s_p, s_q)$  表示在有向图中有从  $s_p$  指向  $s_q$  的有向边。遍历服务优先对  $L_{pq}$ , 得到  $L_{pq}$  中所有的节点和有向边, 将  $L_{pq}$  中的每条有向边以及节点依次添加到图中, 最终构造以服务为节点、以优先关系为有向边的有向图。

**定义 7** (相似集) 在有向图  $G = \langle V, E \rangle$  中, 若有子集  $Sim \subseteq C$  (其中集合  $C$  指的是有向图中所有节点的集合) 由相似的节点集合组成, 如果存在节点  $s_1, s_2 \in Sim$ , 对于任何节点有  $c \in C - Sim$ , 有  $s_1 \rightarrow c$  (表示节点  $s_1$  到节点  $c$  存在有向边), 当且仅当  $s_2 \rightarrow c$ , 则集合  $Sim$  是一个相似集。2 个相似候选集的交集仍然是相似候选集。

**定义 8** (前集) 在有向图  $G = \langle V, E \rangle$  中, 对于任意节点  $f \in F$  都存在  $f \rightarrow s$  的有向边, 其中对于任意的  $s \in Sim$ , 集合  $F$  中的任意节点到相似集  $Sim$  中的每一个节点都存在有向边, 记集合  $F$  为前集。

**定义 9** (后集) 在有向图  $G = \langle V, E \rangle$  中, 对于任意节点  $l \in L$ , 都存在  $s \rightarrow l$  的有向边, 其中对于任意的  $s \in Sim$ , 相似集  $Sim$  中的任意一个节点到集合  $L$  中的每一个节点都存在有向边, 记集合  $L$  为后集。

## 2.4 具体示例

**例 1** 假设有 5 个用户对 5 个在线服务进行评分, 如表 1 所示, 其中, 小数为利用协同过滤算法填充后的评分值, 根据定义 1 ~ 定义 6 构造的有向图如图 1 所示。

表 1 用户对在线服务的评分  
Table1 Scores of online services by users

| 用户    | $s_1$ | $s_2$ | $s_3$ | $s_4$ | $s_5$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $u_1$ | 5     | 3     | 3.78  | 2     | 1     |
| $u_2$ | 4     | 1     | 3     | 3     | 2     |
| $u_3$ | 4     | 3     | 3.62  | 3     | 2     |
| $u_4$ | 4     | 2     | 4     | 1     | 1.91  |
| $u_5$ | 5     | 2     | 4     | 1     | 3     |

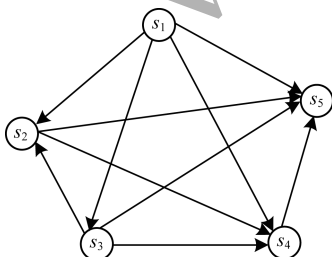


图 1 有向图  $G$

Fig.1 Directed graph  $G$

在有向图  $G$  中,  $s_1$  到  $s_2, s_3, s_4, s_5$  存在边:  $s_1 \rightarrow s_2, s_1 \rightarrow s_3, s_1 \rightarrow s_4, s_1 \rightarrow s_5$ ;  $s_2, s_3, s_4$  到  $s_5$  存在边:  $s_2 \rightarrow s_5, s_3 \rightarrow s_5, s_4 \rightarrow s_5$ 。根据定义 7, 可以得出  $\{s_2, s_3, s_4\}$  是相似集, 即  $Sim = \{s_2, s_3, s_4\}$ 。又因为在有向图中存在边  $s_3 \rightarrow s_2, s_3 \rightarrow s_4, s_2 \rightarrow s_4$ , 所以  $s_3 > s_2 > s_4$ 。

根据定义 8 中前集的定义, 从图 1 中可以得到  $s_1 \rightarrow s_2, s_1 \rightarrow s_3, s_1 \rightarrow s_4, s_1 \rightarrow s_5$ ,  $s_2, s_3, s_4$  到  $s_5$  的边分别  $s_2 \rightarrow s_5, s_3 \rightarrow s_5, s_4 \rightarrow s_5$ , 由此可以得出  $\{s_1\}$  是前集, 即前集  $F = \{s_1\}$ 。

根据定义 9 中后集的定义, 从图 1 中可以得到相似集中的  $s_2, s_3, s_4$  到  $s_5$  存在边:  $s_2 \rightarrow s_5, s_3 \rightarrow s_5, s_4 \rightarrow s_5$ , 可以得出  $\{s_5\}$  是后集, 即后集  $L = \{s_5\}$ 。

遍历有向图  $G$ , 根据相似集、前集、后集的定义, 分别找到相似集、前集、后集, 并根据 3 个集合之间以及内部节点有向边的指向关系, 判断有向图中所有节点的指向关系, 从而得出所有节点的排序, 节点的排序也即是服务的排序, 将节点的排序转化为服务的排序, 最终得出在线服务的排序。因此, 在图 1 中最终排序结果为:  $s_1 > s_3 > s_2 > s_4 > s_5$ , 转化为服务的评价结果:  $s_1 > s_3 > s_2 > s_4 > s_5$ , 因此, 最优服务为  $s_1$ , 最劣服务为  $s_5$ 。

**定义 10** 在线服务偏好序列  $O = (s_k | k = 1, 2, \dots, m)$ , 其中,  $s_k$  表示第  $k$  个在线服务在所有用户偏好序列中的排序, 则第  $k$  个服务的评价值为  $W_k = n - k + 1$ , 其中  $n$  表示在线服务的总数量。

服务的评价值越大, 表示该服务在整体排序中名次越靠前。 $O = (s_1, s_4, s_2, s_3)$  表示服务的排序为  $s_1 > s_4 > s_2 > s_3$ , 其中,  $s_1$  为最优服务,  $s_3$  为最劣服务, 服务  $s_1$  的评价值  $W_1 = 4 - 1 + 1 = 4$ 。

## 3 在线服务评价理论分析

### 3.1 孔多塞性

如果存在服务  $s_p$ , 有一半以上的用户认为服务  $s_p$  优于其他服务, 则服务  $s_p$  是孔多塞候选服务。

证明: 如果有一半以上的用户认为服务  $s_p$  优于  $s_q$ , 则  $\sum_{i=1}^m (zh_{pq} = 1) - \sum_{i=1}^m (zh_{qp} = -1) > 0$ , 在服务对  $(s_p, s_q)$  中, 服务  $s_p$  优于其他任意服务。因此, 本文中的 Slater 方法满足孔多塞性, 符合多数用户的偏好需求。

### 3.2 单调性

对于任意不同的服务  $s_p$  和  $s_q$ , 有  $s_p > s_q$ 。如果某个用户对服务  $s_p$  给予较高评分而对服务  $s_q$  的评分不变, 则服务  $s_p$  在总体服务排序中其排名应提高或者不变; 如果某个用户对服务  $s_p$  评分保持不变且对服务  $s_q$  给予较低评分, 则服务  $s_q$  的总体排名不应该降低, 并且最终结果仍为  $s_p > s_q$ 。

证明: 存在服务  $s_p > s_q$ , 如果某个用户对服务  $s_p$  给予较高评分而对服务  $s_q$  的评分不变, 那么认为服务  $s_p$  优于  $s_q$  的用户数增加, 则  $\sum_{i=1}^m (zh_{pq} = 1)$  增加, 服

务对 $(s_p, s_q)$ 中 $s_p$ 排在 $s_q$ 之前,最终排序结果仍为 $s_p > s_q$ 。同理可得,当用户对服务 $s_p$ 评分保持不变且对服务 $s_q$ 给予较低评分,最终排序结果仍为 $s_p > s_q$ 。因此,本文方法得到的评价结果满足单调性,不会因为增加或降低某个服务优于其他服务的用户数而使该服务的排名在总体排名中升高或者降低。

### 3.3 反对称性

对于服务 $s_p$ 和 $s_q$ ,如果每个用户都认为服务 $s_p$ 优于 $s_q$ 服务,则最终排序结果为 $s_p > s_q$ 。当每个用户都作出相反偏好选择时,也即是每个用户都认为服务 $s_q$ 优于 $s_p$ 服务时,则最终服务排序结果为 $s_q > s_p$ 。

证明:若每个用户对服务 $s_p, s_q$ 的偏好由 $s_p$ 优于 $s_q$ 变为 $s_q$ 优于 $s_p$ ,则有 $tu_{pq} < tu_{qp}$ ,在服务优先对 $L_{pq}$ 中服务 $s_q$ 排在服务 $s_p$ 的前面,最终在构造的以服务为节点、以优先关系为有向边的有向图中,存在从 $s_q$ 指向 $s_p$ 的有向边,利用 Slater 方法得出最终排序结果: $s_q$ 优于 $s_p$ 。因此,本文方法得到的在线服务评价结果满足反对称性。

### 3.4 抗操纵性

对于任意服务 $s_p$ 的评分提高或者降低时,最终的服务排序结果保持不变。

证明:如果存在服务 $s_p$ ,有 $s_p > s_q$ ,增加少数用户对服务 $s_q$ 给予较高的评分,由于在用户-服务矩阵

$TU = [tu_{pq}]_{n \times n}$ 中 $tu_{qp} = \left( \sum_{i=1}^m zh_{qp} = -1 \right)$ 增加的用户

数量较少,在服务对 $(s_p, s_q)$ 中,服务 $s_p$ 排在服务 $s_q$ 之前,评价结果仍为 $s_p > s_q$ 。因此,本文方法得到的在线服务评价结果具有较强的抗操纵性。

## 4 实验结果与分析

本文采用具有真实评分数据的电影数据集 MovieLens 进行实验。该数据集包含 943 名用户以及 1 682 部电影,共有 10 万条左右用户对电影的评分。实验环境为:64 位 Windows7 操作系统,Intel Core i5 CPU,8 GB 内存,开发语言是 Matlab 2016a。

为验证本文方法所得在线服务评价结果的可靠性,以 3 种在线服务评价方法,即累加(Sum)法<sup>[5]</sup>、均值(Average)法<sup>[5]</sup>和 Copeland 法<sup>[8]</sup>作为主要对比方法,对孔多塞性、单调性、反对称性、抗操纵性、多数准则冲突以及时间性能进行验证,实验中将本文方法称为 Slater 法。

### 4.1 孔多塞性实验

如果 Slater 法得到的最优服务与孔多塞候选服务一致,则表明该方法满足孔多塞性。本文实验中选取 943 名用户对 52 个服务的评分作为基础。根据所有用户对服务的评分,可得服务 8(即 $s_8$ )有一

半以上的用户认为其优于其他任意一个服务,因此, $s_8$ 为孔多塞服务。Slater 法、Average 法、Sum 法、Copeland 法得到的评价结果如图 2 ~ 图 5 所示。通过对比可知,Average 法和 Sum 法得到的最优服务均是 $s_{18}$ ,因此,Average 法和 Sum 法不满足孔多塞性,而 Copeland 法和 Slater 法得到的最优服务均是 $s_8$ ,满足孔多塞性。

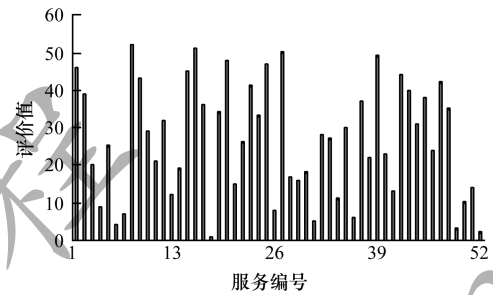


图 2 Slater 法评价结果

Fig. 2 Evaluation result of Slater method

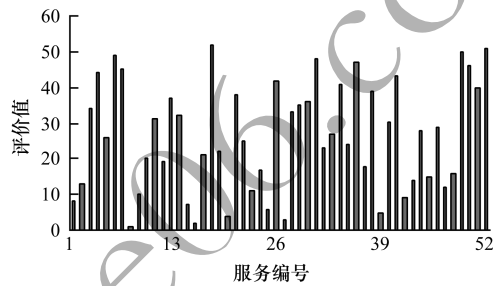


图 3 Average 法评价结果

Fig. 3 Evaluation result of Average method

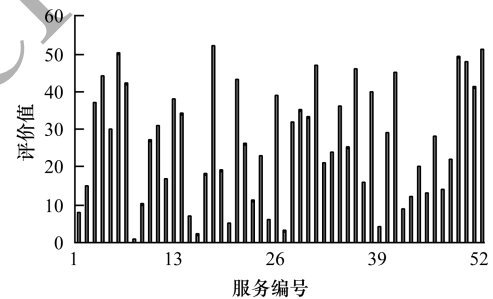


图 4 Sum 法评价结果

Fig. 4 Evaluation result of Sum method

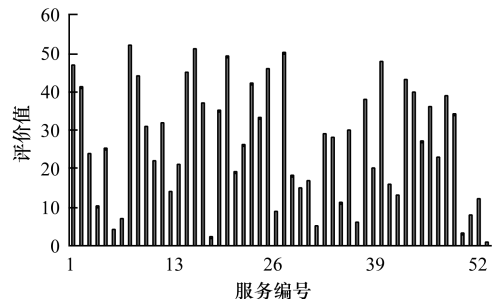


图 5 Copeland 法评价结果

Fig. 5 Evaluation result of Copeland method

## 4.2 单调性实验

为验证 Slater 法的单调性,任选一个在线服务,分别提高、降低用户对其评分值,判断该服务在总体排序中的位置是否有所变化,如果提高评分值该服务的排序位置提高或者不变,而且降低评分值该服务的排序位置降低或者不变,则 Slater 法得到的评价结果符合单调性。本文实验随机选择 2 个在线服务,并且选取 100 个~900 个用户分别增加和减少对上述 2 个服务的评分,实验结果如图 6 和图 7 所示。

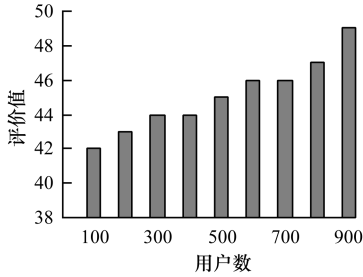


图 6 提高评分的评价结果

Fig. 6 Evaluation result after the user rating is increased

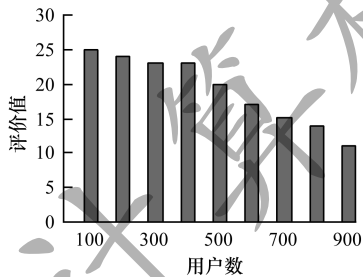


图 7 降低评分的评价结果

Fig. 7 Evaluation result after the user rating is decreased

由图 6 可以看出,当提高用户对在线服务的评分时,Slater 法得到的该服务的评价值增大,表明该服务在总体服务排序中排名提高。由图 7 可以看出,当降低用户对在线服务的评分时,Slater 法得到的该服务的评价值减小,表明该服务在总体服务排序中排名逐渐靠后。由此表明,Slater 法得到的评价结果满足单调性。

## 4.3 反对称性实验

为验证 Slater 法得到的评价结果满足反对称性,任取某个用户对 2 个在线服务的评分给予相反选择,若通过 Slater 法得到的评价结果排序也相反,则该方法满足反对称性。本文实验将用户对服务的评分全部取反,并分别用 Slater 法得出评分取反前与评分取反后的评价值,如图 8 所示。可以看出,当用户对服务的评分取反后,Slater 法得到的评价结果也作相反选择,且取反前与取反后的评价值关于评价值 26 对称。由此表明,Slater 法得到的评价结果满足反对称性。

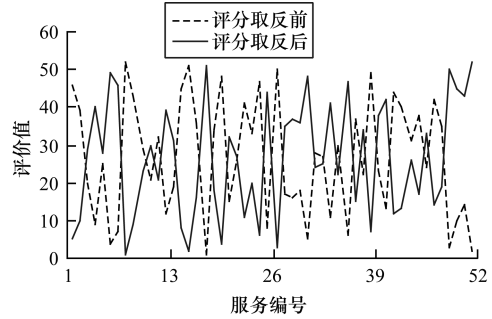


图 8 反对称性验证结果

Fig. 8 Anti-symmetry verification result

## 4.4 抗操纵性实验

为验证 Slater 法的抗操纵性,随机选取某个在线服务:1)增加对该服务给予较高评分的不诚实用户;2)增加对该服务给予较低评分的不诚实用户,如果得到的最终排序结果与增加不诚实用户前的排序结果一致,则 Slater 法得到的评价结果具有抗操纵性。4 种方法得到的评价值如图 9 和图 10 所示。可以看出,Slater 法得到的评价值并没有随着不诚实用户数的增加而变大,也没有随着用户对服务评分的降低而变小,即服务排名基本不受影响,相比之下,Average 法、Sum 法、Copeland 法得到的评价值则变化较大,即该服务排名受到较大的影响。由此表明,Slater 法得到的在线服务评价结果具有较强的抗操纵性,不会因为部分不法用户对服务的评分而影响最终的服务评价结果。

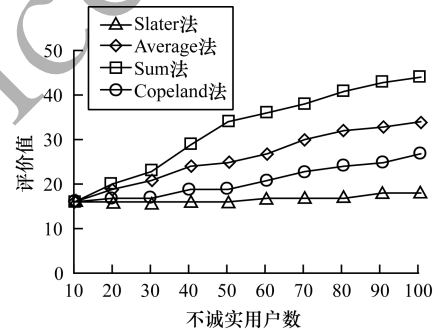


图 9 将用户评分提升至 4 分的评价结果

Fig. 9 Evaluation result after the user rating is increased to 4

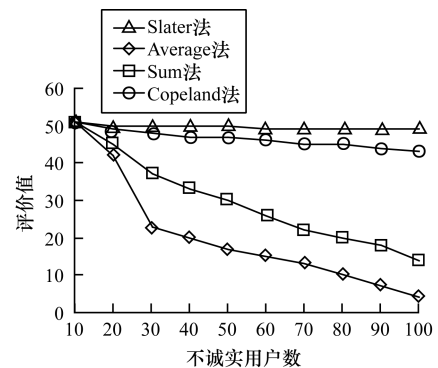


图 10 将用户评分降低至 2 分的评价结果

Fig. 10 Evaluation result after the user rating is decreased to 2

#### 4.5 多数准则冲突实验

多数准则是指对于任意 2 个不同的在线服务  $s_p, s_q$ , 如果认为服务  $s_p$  优于服务  $s_q$  的用户数量多于认为服务  $s_q$  优于  $s_p$  服务的用户数量, 则  $s_p > s_q$ 。那么根据多数准则冲突, 把认为服务  $s_q$  优于服务  $s_p$  的用户数量称为多数准则冲突数量。本文保持服务的数量固定不变, 采用 5 组不同用户数量的数据集进行实验, 统计出 Slater 法、Sum 法、Average 法、Copeland 法各自满足多数准则冲突的比例, 如图 11 所示。可以看出, Slater 法满足多数准则冲突的比例远低于 Average 法、Sum 法和 Copeland 法, 即表明该方法得到的评价结果更好地满足多数准则, 能够符合较多用户的偏好需求。

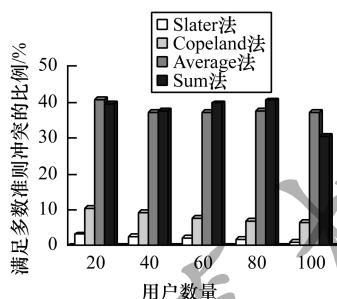


图 11 多数准则冲突实验结果

Fig. 11 Experimental result of the majority criterion conflict

#### 4.6 运行时间

设定服务的数量固定, 依次增加用户的数量, 比较 Slater 法、Sum 法、Average 法、Copeland 法每次排序后的系统运行时间, 如图 12 所示。可以看出, 随着用户数量的增加, 系统计算用户评价的次数增加, 导致运行时间逐渐增加。然而 Slater 法运行时间并没有随着用户数量成倍增加, 因此该方法效率较高。此外还可以看出, 相比于 Sum 法、Average 法、Copeland 法, 虽然 Slater 法运行时间较长, 但是对其进行操纵比 Sum 法、Average 法、Copeland 法需要更长的时间, 因此, Slater 法得到的评价结果其抗操纵难度比 Sum 法、Average 法、Copeland 法更高。

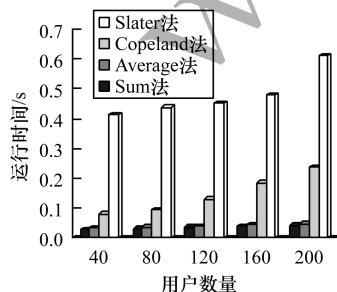


图 12 运行时间比较

Fig. 12 Comparison of running time

#### 5 结束语

本文基于社会选择理论的基本思想, 利用 Slater 法对在线服务进行评价, 解决因用户偏好和评价准则不一致导致的在线服务评分不可比较的问题。该方法将不可比较的评分转化为用户对不同服务的个人偏好矩阵, 利用 Slater 法得到在线服务的评价结果。理论分析和实验比较结果表明, 本文方法得到的在线服务评价结果满足孔多塞性、单调性、反对称性和抗操纵性, 验证了其对于在线服务评价的有效性。由于 Slater 问题是 NP-hard 问题, 随着在线服务数量的增加, Slater 法计算在线服务评价的难度将有所增加, 因此下一步将对本文方法进行优化, 提高算法效率并降低系统消耗。

#### 参考文献

- [1] HUANG A, LAN C W, YANG S J H. An optimal QoS-based Web service selection scheme [J]. Information Sciences, 2009, 179(19): 1-5.
- [2] SCHALL D, SKOPIK F, DUSTDAR S. Expert discovery and interactions in mixed service-oriented systems [J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2012, 5(2): 233-245.
- [3] ALLAHBAKHS M, IGJATOVIC A, MOTAHARI-NEZHAD H R, et al. Robust evaluation of products and reviewers in social rating systems [J]. World Wide Web, 2015, 18(1): 73-109.
- [4] YU Li, DONG Siwei, GUO Bin. Research on attack on personalized recommendations in e-commerce [J]. Computer Science, 2007, 34(5): 134-138. (in Chinese) 余力, 董斯维, 郭斌. 电子商务推荐攻击研究 [J]. 计算机学报, 2007, 34(5): 134-138.
- [5] FERRY H, KRIS B, RYAN C. Reputation systems: a survey and taxonomy [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2015, 75(1): 184-197.
- [6] SCAFFIDI C, BIERHOFF K, CHANG E, et al. Red Opal: product feature scoring from reviews [C]//Proceedings of ACM Conference on Electronic Commerce. New York, USA: ACM Press, 2007: 182-191.
- [7] WANG Yuxiang, QIAO Xiuquan, LI Xiaofeng, et al. Research on context-awareness mobile SNS service selection mechanism [J]. Chinese Journal of Computers, 2010, 33(11): 2126-2135. (in Chinese) 王玉祥, 乔秀全, 李晓峰, 等. 上下文感知的移动社交网络服务选择机制研究 [J]. 计算机学报, 2010, 33(11): 2126-2135.
- [8] YIN Yan, FU Xiaodong, LIU Li, et al. Group evaluation method for online commodities using copeland social choice theory [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2018, 39(6): 1201-1207. (in Chinese) 殷岩, 付晓东, 刘骊, 等. 利用 Copeland 社会选择理论的在线商品群体评价 [J]. 小型微型计算机系统, 2018, 39(6): 1201-1207.



- [9] MOHANTY B K, PASSI K. Web based information for product ranking in e-business: a fuzzy approach [C]// Proceedings of the 8th International Conference on Electronic Commerce. New York, USA: ACM Press, 2006:558-563.
- [10] ABDUL-MUHMİN A G. Contingent decision behavior: effect of number of alternatives to be selected on consumers' decision processes[J]. Journal of Consumer Psychology, 1999, 8(1):91-111.
- [11] FENG Q, HWANG K, DAI Y. Rainbow product ranking for upgrading e-commerce [J]. IEEE Internet Computing, 2009, 13(5):72-80.
- [12] ARUN M R M, WINSTER S G, SARAVANAN R, et al. ProRankSys: ranking consumer products by predicting opinion's weight on reviews [C]// Proceedings of 2014 International Conference on Computer Communication and Systems. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2014:33-38.
- [13] SUN Ruonan, ZHANG Bin, LIU Tingting. Service ranking method based on improved entropy TOPSIS[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2017, 38(6):1221-1226. (in Chinese)  
孙若男, 张斌, 刘婷婷. 一种使用改进熵权 TOPSIS 的 Web 服务质量评价排序方法[J]. 小型微型计算机系统, 2017, 38(6):1221-1226.
- [14] KONG Rui, WANG Yonggang, XIN Wei, et al. Customer reviews for individual product feature-based ranking [C]// Proceedings of the 1st International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2011:449-453.
- [15] GANGOTHRI V, SARANYA S, VENKATARAMAN D. Engender product ranking and recommendation using customer feedback [C]// Proceedings of International Conference on Soft Computing Systems. Berlin, Germany: Springer, 2016:851-859.
- [16] HU Jianqiang, LI Juanzi, LIAO Guiping. A multi-QoS based local optimal model of service selection [J]. Chinese Journal of Computers, 2010, 33(3):526-534. (in Chinese)  
胡建强, 李娟子, 廖桂平. 一种基于多维服务质量的局部最优服务选择模型[J]. 计算机学报, 2010, 33(3):526-534.
- [17] WU Wenming, LIU Xiping. Service recommendation method based on trusted similar user [J]. Computer Engineering, 2016, 42(11):57-63, 69. (in Chinese)  
吴文明, 刘茜萍. 基于可信相似用户的服务推荐方法[J]. 计算机工程, 2016, 42(11):57-63, 69.
- [18] JØSANG A, GUO G, PINI M S, et al. Combining recommender and reputation systems to produce better online advice [C]// Proceedings of International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence. Berlin, Germany: Springer, 2013:126-138.
- [19] ZHOU X, LIN D H, ISHIDA T. Evaluating reputation of Web services under rating scarcity [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Services Computing. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2016:211-218.
- [20] ARROW K J. Social choice and individual values [M]. New Haven, USA: Yale University Press, 2012.
- [21] CONITZER V. Computing Slater rankings, using similarities among candidates [C]// Proceedings of the 18th Conference on Innovative Application of Artificial Intelligence. Boston, USA: [s. n.], 2006:613-619.
- [22] VIGLAS S D. Rate-based query optimization for streaming information sources [C]// Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. New York, USA: ACM Press, 2002:37-48.
- [23] WEI Suyun, XIAO Jingjing, YE Ning. Collaborative filtering algorithm based on co-clustering smoothing [J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(s2):163-169. (in Chinese)  
韦素云, 肖静静, 业宁. 基于联合聚类平滑的协同过滤算法[J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(s2):163-169.

编辑 金胡考