

# 一种基于扩展 Owl-S 本体的 Web 服务质量度量及评价方法的研究

周 敏<sup>1,2,3</sup> 张为群<sup>1,3</sup> 林已杰<sup>1,2,3</sup> 石 莹<sup>1,2</sup>

(西南大学计算机与信息科学学院 重庆 400715)<sup>1</sup> (西南大学信息中心 重庆 400715)<sup>2</sup>

(重庆市智能软件与软件工程重点实验室 重庆 400715)<sup>3</sup>

**摘 要** 随着 Web 服务技术的广泛使用,从多个功能相似的 Web 服务中选取较合适的 Web 服务成了亟需解决的问题。对 Web 服务本体 Owl-S 进行扩展,给 Web 服务添加加费用、时间、可靠性等服务质量指标。从多个方面获取并规范度量指标,根据这些服务质量指标建立评价模型,根据评价模型得到功能相似 Web 服务的综合服务质量排序,为服务选取提供依据。

**关键词** Web 服务,服务质量,服务评价,服务质量反馈

## Research of Web Service QoS Evaluation Method with Extended Owl-S Ontology

ZHOU Min<sup>1,2,3</sup> ZHANG Wei-qun<sup>1,3</sup> LIN Yi-jie<sup>1,2,3</sup> SHI Ying<sup>1,2</sup>

(College of Computer and Information Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)<sup>1</sup>

(Information Center, Southwest University, Chongqing 400715, China)<sup>2</sup>

(Chongqing Intelligent Software and Software Engineering Laboratory, Chongqing 400715, China)<sup>3</sup>

**Abstract** With the large usage of Web service technology, how to find the more suitable Web services from Web services with similar functions is a urgent problem. This article extended the concept of Web service ontology OWL-S and some service quality indicators were added into the research such as cost, time, reliability and so on. The research acquired standard measure indexes from many aspects. According to these measure indexes, evaluation model was built up and was used to deduce the ranking of Web integrated service with similar function. The results will supply the help for the service choices.

**Keywords** Web service, QoS, Service evaluation, QoS feedback

## 1 引言

随着互联网技术及信息技术的快速发展,Web 服务<sup>[3-5]</sup>技术得到了广泛应用。针对同一功能需求,用户可以选择的服务的数量越来越多。Web 服务组合流程面临的主要问题由如何发现服务变成了如何从多个功能相似的 Web 服务中选择合适的服务。多个功能相似的 Web 服务的共存使 Web 服务质量(Quality of Service, QoS)成为这些服务之间最显著的区别和用户选择的依据<sup>[2,3,8,9]</sup>。QoS 信息的收集、更新、计算、评价在 Web 服务描述、选择和使用过程中占据的作用会越来越显著。为了保证 QoS 信息准确和可信,要为服务选择和组合提供更加精确、可靠直接的支持。

## 2 相关

目前 Web 服务技术的主要研究集中在对语义 Web 服务的发布和基于功能属性的语义 Web 服务发现上<sup>[4-8]</sup>,对 Web 服务质量的研究较少。对 Web 服务质量的研究主要集中在对可靠性、有效性、完整性等指标的静态处理上<sup>[3,8,9]</sup>,存在指

标数据来源单一,没有从多个方面对指标数据进行综合处理,导致数据的可信度不高,用户自主配置 Web 服务质量匹配条件的灵活度不足等问题。为了解决这些问题,本文提出一种方法,用于对 Web 服务描述本体 OWL-S 进行扩展,加入多个服务质量指标,从服务提供方、用户、第三方评测等几个方面获取服务指标值,对非数值型数据进行标准量化,再通过本文的评价模型进行计算,得到服务的综合服务质量评价,为从多个相似功能的 Web 服务中选取合适的服务提供参考。

OWL-S<sup>[1,2,4-6]</sup>,即基于 OWL 语言的 Web 服务本体,是 W3C 推荐的标准。Owl-S 定义了一组核心的语言构件,用于对 Web 服务进行逻辑化描述,所生成的描述文件支持机器理解,从而支持代理程序基于逻辑语义实现对 Web 服务的自动发现、调用、组合与监控。主要通过服务 Profile(ServiceProfile)、服务模型(ServiceModel)和服务绑定(ServiceGrounding)3 个类来描述服务做什么、服务如何做、服务如何访问 3 方面的语义信息。OWL-S 是连接语义 Web 和 Web 服务两大技术的桥梁。目前语义 Web 服务的研究主要围绕 OWL-S 展开。

到稿日期:2009-07-02 返修日期:2009-09-30 本文受重庆市自然科学基金项目(CSTC,2006BA2003)资助。

周 敏(1980-),男,硕士生,主要研究方向为软件理论等,E-mail:wander@swu.edu.cn;张为群(1950-),男,教授,主要研究方向为软件理论、软件测试等;林已杰(1980-),男,硕士生,主要研究方向为软件理论等;石 莹(1979-),女,硕士生,主要研究方向为基础心理学等。

### 3 本文的 Web 服务质量度量模型

Web 服务质量是用户选择 Web 服务的重要依据,它描述了一个 Web 服务满足客户需求的能力,包括性能、可靠性、可用性、安全性、经济性、可维护性等几个 Web 服务质量的关注方面。本文对 Web 服务本体 OWL-S 进行扩展,加入以下几个具体指标作为 Web 服务质量的指标。

**定义 1** Web 服务质量模型。

QoS = {Price, Time, Usability, Reliability, Security, Satisfaction, Integrity}

QoS 是 Web 服务质量指标的集合,包括 Price 是服务价格,Time 是响应时间,Usability 是可用性,Reliability 是可靠性,Security 是安全性,Satisfaction 是满意度,Integrity 是完整性。

服务价格(Price):

**定义 2**  $QP = \{P_s\}, P_s \in R, P_s \geq 0$

该指标描述 Web 服务请求者为调用 Web 服务所需支付的费用。在本文的 Web 服务质量模型中记为服务价格  $P_s$ ,其值由服务发布方指定。QP 代表 Web 服务的服务价格指标。

响应时间(time):

**定义 3**  $Time = \{T_s, T_r, T_c\}$

该指标描述 Web 服务从调用开始到执行结束并返回结果所需要的时间。其值来源于三个方面: $T_s$  是 Web 服务发布者指定, $T_r$  是 Web 服务使用者后反馈的平均值,其值可按如下计算得到: $T_r = \frac{k * T_r + T_r'}{k+1}$  ( $k$  为已评次数, $k \in N, k \geq 0$ ,  $T_r$  为当前评价均值, $T_r'$  为本次执行所用时间,如  $k=0$ ,则其初值取  $T_s$  和  $T_c$  的算术平均值, $T_r = \frac{T_s + T_c}{2}$ ),  $T_c$  是第三方评测值。根据系统配置的 3 个部分的权值计算出综合时间。

**定义 4**  $QT = W_s * T_s + W_r * T_r + W_c * T_c$

QT 是 Web 服务的综合时间指标, $W_s + W_r + W_c = 1$  分别指时间 3 个来源的权重,在系统配置中设定。

可用性(Usability):

**定义 5**  $Usability = \{U_s, U_r, U_c\}$

指 Web 服务是否存在、是否已就绪可供立即使用或是需要排队等待。 $U_s$  是 Web 服务发布者指定值, $U_r$  是 Web 服务使用者反馈值的平均值, $U_c$  是第三方测试评测值。Web 服务请求者可以在使用完 Web 服务后,调用系统的 QoS 评价模块,取得当前的可用性  $U_r'$ ,对  $U_r$  更新,即  $U_r = \frac{k * U_r + U_r'}{k+1}$  ( $k$  为已评次数, $k \in N, k \geq 0$ ,  $U_r$  为历史可用性评价均值, $U_r'$  为本次可用性,如果  $k=0$ ,则  $U_r = \frac{U_s + U_c}{2}$ )。根据系统配置的 3 个部分的权值计算出综合可用性。

**定义 6**  $QU = W_u * U_s + W_r * U_r + W_c * U_c$

QU 指 Web 服务的综合可用性指标, $W_u + W_r + W_c = 1$  分别指时间 3 个来源的权重,在系统配置中设定。

可靠性(Reliability):

**定义 7**  $Reliability = \{R_s, R_r, R_c\}$

Web 服务执行结果可以分为执行成功和执行失败两种。本文的 Web 服务质量模型将可靠性定义为执行成功的次数

与总次数的百分比。 $R_s$  是 Web 服务发布者指定值, $R_r$  是 Web 服务使用者反馈下平均值,标记为  $R_r$ , $R_c$  是第三方测试机构评测值。当前执行结果为  $R_r'$ ,若执行成功,则  $R_r' = 1$ ,否则  $R_r' = 0$ 。对  $R_r$  更新时,有  $R_r = \frac{k * R_r + R_r'}{k+1}$  ( $k$  为已评次数, $k \in N, k \geq 0$ ,如果  $k=0$ ,则  $R_r = \frac{R_s + R_c}{2}$ )。根据系统配置的 3 个部分的权值计算出综合时间。

**定义 8**  $QR = W_n * R_s + W_r * R_r + W_c * R_c$

QR 指 Web 服务的综合可靠性指标, $W_n + W_r + W_c = 1$  分别指可靠性的 3 个来源的权重,在系统配置中设定。

安全性(Security):

**定义 9**  $Security = \{S_s, S_r, S_c\}$

该指标可以从通信完整性、通信保密性、数据完整性、数据保密性等多个方面对 Web 服务的安全性进行评价。 $S_s$  是 Web 服务发布者指定值, $S_r$  是 Web 服务使用者反馈平均值, $S_c$  是第三方测试机构评测值。为了便于参与 Web 服务的综合 QoS 计算,依据领域专家经验和对部分专业用户进行的问卷调查结果,将该指标数字化为  $[0, 1]$  之间的数值,表示为 {非常差:0,差:0.1,较差:0.3,较好:0.6,好:0.8,很好:1}。

服务使用完成后更新  $S_r$  时,假设本次的评价为  $S_r'$ ,则  $S_r = \frac{k * S_r + S_r'}{k+1}$  ( $k$  为已评次数, $k \in N, k \geq 0$ ,如果  $k=0$ ,则  $S_r = \frac{S_s + S_c}{2}$ )。根据服务请求时用户指定的 3 个部分的权值计算出综合时间。

**定义 10**  $QS = W_s * S_s + W_r * S_r + W_c * S_c$

QS 指 Web 服务的综合安全性指标, $W_s + W_r + W_c = 1$  分别指时间 3 个来源的权重,由用户在提交请求时设定。

功能满意度(Satisfaction):

**定义 11**  $Satisfaction = \{S_{sr}, S_{sc}\}$

功能满意度描述 Web 服务使用者对 Web 服务的满意程度。 $S_{sr}$  是 Web 服务使用者反馈平均值, $S_{sc}$  是第三方测试机构评测值。为了便于参与 Web 服务的综合 QoS 计算,依据领域专家经验和对部分专业用户进行的问卷调查结果,将该指标数字化为  $[0, 1]$  之间的数值,表示为 {不满意:0,一般:0.6,满意:0.8,非常满意:1}。

更新  $S_{sr}$  时, $S_{sr} = \frac{k * S_{sr} + S_{sr}'}{k+1}$  ( $k$  为已评次数, $k \in N, k \geq 0$ , $S_{sr}'$  为本次评价。如果  $k=0$ ,则  $S_{sr} = S_{sc}$ )。根据服务请求时用户指定的 2 个部分的权值计算出综合时间。

**定义 12**  $QS_2 = W_{sr} * S_{sr} + W_{sc} * S_{sc}$

$QS_2$  指 Web 服务的综合安全性, $W_{sr} + W_{sc} = 1$  分别指时间 2 个来源的权重,在系统配置中设定。

完整性(Integrity):

**定义 13**  $Integrity = \{I_s, I_c\}$

该指标指 Web 服务如何维护开始前的程序状态,适当地执行 Web 服务事务会实现正确的交互。 $I_s$  是 Web 服务提供者在服务发布时的指定值,记为  $I_s$ , $I_c$  是第三方测试机构测值。为了便于参与 Web 服务的综合 QoS 计算,依据领域专家经验和对部分专业用户进行的问卷调查结果,将该指标数字化为  $[0, 1]$  之间的数值,表示为 {差:0,较差:0.3,较好:0.7,好:0.9,很好:1}。

根据服务请求时用户指定的 2 个部分的权值计算出综合时间。

定义 14  $QI=W_s * I_s+W_k * I_k$

$Q_s$ 指 Web 服务的综合安全性, $W_s+W_k=1$  分别指时间 2 个来源的权重,在系统配置中设定。

#### 4 Web 服务综合服务质量的度量方法

综合上面各 Web 服务质量的指标,我们给出有多个功能相似的候选 Web 服务中选出最优 Web 服务的办法:

假设有  $n$  个候选 Web 服务集合,记为  $S=\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_n\}, n \in N, N$  为自然数,每一个 Web 服务的 QoS 向量为  $QoS(S_i)=\{Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6, Q_7\}, S_i \in S$ ,指 Web 服务集合  $S$  中的第  $i$  个 Web 服务, $QoS(S_i)$ 指第  $i$  个 Web 服务的服务质量向量, $Q_k(k=1 \dots 7)$  分别与  $\{QP, QT, QU, QR, QS, QS_a, QI\}$  一一对应。

可以建立如下 QoS 矩阵:

$$QoSS: \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{17} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{27} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{n1} & Q_{n2} & \dots & Q_{n7} \end{bmatrix} \quad (1)$$

##### 4.1 服务质量中的语义转换

在矩阵(1)中,表价格、执行时间的第一、二列可能有不同的度量单位,如价格可能是美元、英镑等,时间可能是天、小时、分钟等。为了后面的约束条件和规范化,对这些数据进行语义转换,将其度量单位统一,并将式(1)中相应值用语义转换后的值代替。

##### 4.2 服务质量指标量化

由于第一列价格指标、第二列时间指标,其上下限均不好确定,且对 Web 服务质量来说都是一个负指标,其值越小,Web 服务质量越好,故采用如下方法来对其标准化,将其映射到区间 $[0, 1]$ 之上。

$$Q'_{i1} = 1 - \frac{Q_{i1} - \min(Q_{i1})}{\max(Q_{i1}) - \min(Q_{i1})} \quad (0 < i < n, i \in N, N \text{ 为自然数}) \quad (2)$$

$$Q'_{i2} = 1 - \frac{Q_{i2} - \min(Q_{i2})}{\max(Q_{i2}) - \min(Q_{i2})} \quad (0 < i < n, i \in N, N \text{ 为自然数}) \quad (3)$$

将式(2)、式(3)代入式(1),可以得到全部 QoS 参数规范化后的服务质量矩阵:

$$QoSS': \begin{bmatrix} Q'_{11} & Q'_{12} & \dots & Q'_{17} \\ Q'_{21} & Q'_{22} & \dots & Q'_{27} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q'_{n1} & Q'_{n2} & \dots & Q'_{n7} \end{bmatrix} \quad (4)$$

##### 4.3 重要质量指标约束

在使用服务质量时,用户对某些属性有特别的要求,可以在提交请求时设置重要指标约束条件。如用户要求费用必须在一定范围之内,或是要求在一定时间内必须执行完毕等,利用用户提交的约束条件对服务列表矩阵(1)式进行筛选,得到符合用户约束条件的候选服务列表。假设筛选后有  $m$  个符合约束条件的 Web 服务,则得到新的 QoS 矩阵:

$$QoSS': \begin{bmatrix} Q'_{11} & Q'_{12} & \dots & Q'_{17} \\ Q'_{21} & Q'_{22} & \dots & Q'_{27} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q'_{m1} & Q'_{m2} & \dots & Q'_{m7} \end{bmatrix} \quad (5)$$

#### 4.4 QoS 质量评价

根据用户提交请求时指定的各指标权利得到如下的权重向量  $W$ ,如果用户提交请求时没有指定值,则由系统使用预设值

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_j \\ \dots \\ W_7 \end{bmatrix} \quad (j=1 \dots 7, W_j \text{ 代表 Web 服务 } S \text{ 的第 } j \text{ 维服} \quad (6)$$

务质量指标的权重,  $\sum_{j=1}^7 W_j = 1$ )

根据矩阵运算和式(5)、式(6)可得  $m$  个 Web 服务的综合服务质量向量  $ZQoS$  如下:

$$ZQoS(S) = QoSS' * W \quad (ZQoS \text{ 为 } M \text{ 维列向量}) \quad (7)$$

式中, $ZQoS$  的第  $i$  维  $ZQoS[i]$  ( $i \in M, M$  为自然数)代表所对应的 Web 服务  $S_i$  综合服务质量度量值。 $\text{Max}(ZQoS(i))$  即为基于本模型的 Web 服务质量最好的服务。对  $ZQoS(i)$  排序,则得到功能相似 Web 服务的依 QoS 综合值的候选服务列表。

#### 4.5 基于本文 Web 服务质量度量模型的 Web 服务选择过程

在选择 Web 服务时,可以以图 1 所示流程选取适合用户需要的 Web 服务。

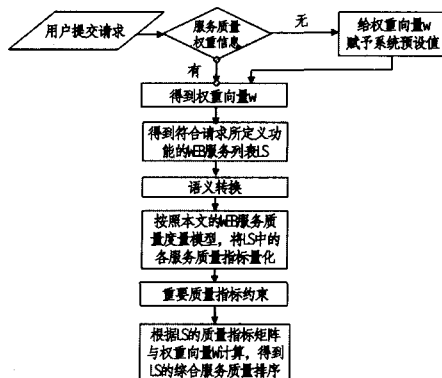


图 1

#### 5 仿真实验

我们用仿真实验,对采用本文的模型和不采用本文模型的 Web 服务选择进行比较。实验中有 20 个候选服务,其中可用服务为 16 个。分别用本文的模型和不采用本文模型在 20 个候选服务上做 20 次服务选择,计算得到可用服务的机率。重复上述过程 20 次,得到的结果如图 2 所示。图 2 中方法二为采用本文中模型所得到的数据。

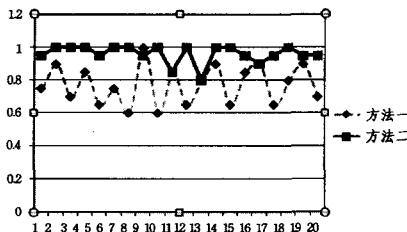


图 2 实验结果

由图 2 可见,由于本文模型具有使用后反馈评价和 QoS 排序机制,使得系统具有学习记忆和在此基础上择优选择的

(下转第 183 页)

荐性能。为了恰当分析并与其它试验横向比较,测试数据集选择美国明尼苏达大学的 MovieLens 数据集 million-ml-data 数据文件。文件包含了 6040 个用户对 3952 个电影的 1,000, 209 个评分。总体用户-评分矩阵稀疏等级约为 95.8%。使用平均绝对偏差(MAE, Mean Absolute Error)来度量本算法预测的准确性。这里采用 All-But-One 方法,随机取 10 个用户,在其余用户中计算相似用户,以 UBCF, ALL-BUT-ONE 方法对不同计算方式的性能进行评估,得到平均 MAE 值,如表 1 所列。

表 1 各计算方法平均 MAE 值对比

邻居数目	余弦相似	修正余弦	全面均值法
10	0.82847	0.76039	0.69307
20	0.76089	0.70494	0.62195
30	0.77858	0.71745	0.64141
40	0.79219	0.71395	0.60777
50	0.80325	0.73651	0.62469
60	0.80772	0.73853	0.62881

可以看到,本文提出的全面均值法在上述的实验环境下,总体的预测评分精度有所提高;在各个相似邻居数目测试情况下,有较小的 MAE 值。

表 2 为 F1 系数<sup>[1]</sup>验证的推荐质量(对上述各试验用户推荐 15 部电影。设数据集前 3000 部电影为已知,后 951 部未知,前者作为计算相似邻居依据,后者作为推荐测试集)。

表 2 各计算方法平均 F1 系数对比

邻居数目	余弦相似	修正余弦	全面均值
10	0.185777	0.147855	0.166257
20	0.238812	0.163861	0.246994
30	0.208182	0.160595	0.224860
40	0.226174	0.180726	0.226174
50	0.246846	0.178072	0.255656

由以上数据表明,在相同条件和各相似邻居数目下,全面均值法基本上具有较大的 F1 数值,推荐质量较高。

**结束语** 本文在研究分析 CF 算法的基础上,提出了全面均值法的改进算法,降低了推荐算法的时间复杂度。经实际数据验证,该算法提高了 CF 计算的预测精度和推荐质量,其所依据的心理理论基础是:一个人对一系列事物不表态本身就是一种表态。以图 1 为例,用户 3,4 对 1-10 号的电影评分都是 0,表明他们对 1-10 号电影都不感兴趣或不屑评价。这也是一种相似:他们虽然未必有多少相同的喜好,但却有范围较一致的“讨厌”。相对于其它的用户而言(如 10 或

18),他们之间相对更为相似一些。

全面均值在计算时分母取值不宜过大,因此在实际电子商务系统中,分别为每一类(子类)的商品项目建立用户-此类项目评分矩阵,再对各类商品矩阵使用本全面均值法(如本文测试使用的 MovieLens 数据集就是专门对电影一类的 CF 矩阵),这样做有助于提高 CF 预测精度<sup>[2]</sup>。对于不同项目类别划分的粒度,可进一步在多类项目环境中试验确定。

对于 CF 算法的性能验证,因数据集不同而存在很多的不确定性,静态试验数据集的 F1 等参数并不一定说明推荐算法的实际效果。但本算法在保持比传统计算方法稍好性能的情况下,降低了计算相似性的时间复杂度。

相关文献研究<sup>[1]</sup>指出,在实际评分数据稀疏条件下,传统的只考虑用户间共同非 0 评分项目的相似度计算方法会降低精度,而本文提出的全面均值算法考虑了用户间已评分和未评分的项目。在多种类型项目条件下推荐验证问题,可作为下一步的试验方向,以在实际多类型项目推荐数据中测试其效果。

## 参考文献

- [1] Asymeonidis P, Nanopoulos A. Collaborative recommender systems: combining effectiveness and efficiency [J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34: 2995-3013
- [2] Yu Li, Liu Lub, Li Xuefeng. A hybrid collaborative filtering method for multiple-interests and multiple-content recommendation in E-Commerce [J]. Expert Systems with Applications, 2005, 28: 67-77
- [3] Papagelis M, Plexousakis D. Qualitative analysis of user-based and item-based prediction algorithms for recommendation agents [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2005, 18: 781-789
- [4] 潘红艳,林鸿飞,赵晶.基于矩阵划分和兴趣方差的协同过滤算法[J].情报学报,2006,25(1):49-54
- [5] 吴发青,贺裸,夏薇薇,等.一种基于用户兴趣局部相似性的推荐算法[J].计算机应用,2008,28(8):1981-1990
- [6] 王宏宇.商务推荐系统的设计研究[D].合肥:中国科学技术大学,2007
- [7] 王卫平,吴伦.协同过滤在 CRM 交叉销售中的应用研究[J].管理学报,2007,4(4):436-441

(上接第 129 页)

能力,从而较好地提高了服务选择的成功率。

**结束语** 本文在常见的基于 OWL-S/UDDI 的 Web 服务发现的研究基础上,对服务质量的描述从单一的服务提供方指定扩展到由服务提供方、服务使用方、第三方共同评价的模式,增加了服务质量的可靠性和可用性。同时,由于服务质量有多个方面的多个指标,对服务质量的多目标决策判定办法在实现中很困难,因此本文尝试将服务质量指标进行规范度量,以便在服务选择时计算机能自动处理。由于服务质量指标类型很多,在服务指标量化时如何对这些指标进行量化,需要较多的经验积累。本文的量化方法还存在不足,应当在以后的研究中予以改进。

## 参考文献

- [1] <http://www.w3.org/Submission/OWL-S/>. 2009. 11
- [2] [http://www.uddi.org/pubs/uddi\\_v3.htm](http://www.uddi.org/pubs/uddi_v3.htm). 2009. 11
- [3] 高亚春,张为群.基于 QoS 本体的 Web 服务描述和选择机制

[J]. 计算机科学, 2008, 35(12): 273-276

- [4] Luo J, Montrose B, Kim A, et al. Adding OWL-S Support to the Existing UDDI Infrastructure [C] // IEEE International Conference on Web Services (ICWS'06). 2006
- [5] Ding Zhi-jun, Wang Jun-li, JIANG Chang-jun. Semantic Web Service Composition Based on OWL-[C] // Proceedings of the First International Conference on Semantics, Knowledge, and Grid (SKG 2005). 2005
- [6] 赵军.基于 OWL-S 的 Web 服务发现系统的研究和实现[J].计算机技术与发展,2006,16(10):163-166
- [7] 徐利谋,金可音,阳辉,等.基于 OWL-S 的服务发现算法研究[J].计算机工程与科学,2007,29(8):64-67
- [8] 吴健,蔡铭,唐敏,等.网络制造中 Web Service 的服务质量模糊排序方法[J].计算机辅助设计与图形学学报
- [9] 牟玉洁,曹健,张申生,等.扩展的 Webservice 服务质量模型研究[J].计算机科学,2006,33(1):5-9
- [10] 陈蜀宇,刘刚国.面向 Web 服务的数字化营区系统构架[J].重庆工学院学报:自然科学版,2008,22(9):103-107