一种基于非功能属性决策的可信 Web 服务发现模型

胡旭东 曾国荪 陈 波

(同济大学计算机科学及技术系 国家高性能计算机工程技术中心同济分中心 上海 201804)

摘 要 Web服务注册中心为服务请求者寻找Web服务带来方便,但由于其缺少对服务非功能信息的支持,无法很好满足用户需求,最终导致服务发现可信程度不高。首先对Web服务质量、服务信誉等非功能属性进行分析,通过服务行为观测机制获取较客观的属性指标数据,利用多属性决策方法,提出一种可信的Web服务发现模型。模型能帮助服务请求者发现最优的、可信的服务。最后通过一个应用实例验证了模型的有效性。

关键词 服务质量,服务信誉,发现模型,多属性决策

中图法分类号 TP393 **文献标识号** A

Model for Trust Web Service Discovery Based on Non-function Attribute Decision-making

HU Xu-dong ZENG Guo-sun CHEN Bo

(Tongji Branch, National Engineering and Technology Center of High Performance Computer, Department of Computer Science and Technology, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract Web service register center helps client easily to discovery the Web service, but as a result of its lacking support for non-functional attribution requirement of client, it causes the discovery process a lower trust degree. To solve this problem, first analyzed some non-functional attributes of Web service such as quality of ser-vice, reputation of service, acquired the value of index attributes through a behavior-observing mechanism which is more objective and proposes a trust Web service discovery model based on a multi-attribute decision-making method. This model can help service requestors discover the optimal and the trustful service. In the end, verified the validity of this model through an application example.

Keywords Quality of service, Reputation of service, Discovery model, Multi-attribute decision-making

1 引言

随着 Internet 的发展,Web 服务技术深刻地影响着软件的形态。Web 软件通过管理中心注册服务,并根据用户的请求来发现和提供服务。然而,传统的 Web 服务发现机制缺乏可信:首先,WSDL(Web Service Description Language)主要描述服务的功能接口信息[1],Web 服务发现仅满足功能需求,忽略了用户对服务质量性能的需求。其次,由于网络的开放性,少数服务提供者提供名不副实的服务,甚至是恶意程序。再者,随着功能相同的 Web 服务数量的剧增,用户选择面越来越宽,传统机制没有提供选择最佳服务的方法。因此,可信的 Web 服务发现是一个迫切需要解决的问题。

Daniel 等人提出了 SLA(Service Level Agreement,服务水平协议)的概念[2],强调 Web 服务的发现过程应保证服务质量。Ouzzani 等人定义了服务虚拟操作,并明确提出了基于服务质量的三层查询模型[3]。文献[4]提出了一个服务质量指标体系,认为用户的非功能属性需求主要包括如下 7 个方面:性能、可用性、可访问性、完整性、可靠性、规范性、安全。文献[5]进一步将服务非功能属性划分为 4 类:运行相关属性、传输相关属性、配置相关属性、安全相关属性,并对每类属性进行了细化分析。但是,以上研究都没有从整体上对 Web 服务的非功能属性进行评估。文献[6]提出了一种 Web 服务 QoS(Quality of Service)架构 QCWS(QoS-capable Web services),在服务请求者和提供者之间增加了 QoS 代理,代理负责收集由服务提供者发送的服务质量信息,从而在服务体系结构层面为用户的非功能属性需求提供匹配。但是文中服务质量仅仅依据服务提供者的声明来获取,服务声明的真实性并没有被验证,服务信誉也就没有得到保证。因为服务信誉也是一类重要的非功能属性。文献[7,8]对 Web 服务的信誉模型进行了研究,这些方法都是依靠用户的反馈,通过用户主观投票打分的统计值来定义信誉度的。这种方式在复杂网络环境下并非很有效,它忽略了用户的恶意评估和串通作弊等问题[9]。本文从 Web 服务构架的角度入手,在传统 Web 服务发现模型基础上增加新的模块和实体,即信任权威机构,形成一种新的服务发现模型。该模型采用行为观测的方法获取服务运行时真实服务质量数据,以此作为计算服务非功能属

到稿日期:2008-03-20 本文受 973 计划前期研究专项(2007CB316502),863 项目(2007AA01Z425),国家自然基金项目(90718015,60673157)资助。

胡旭东 男,硕士研究生,从事可信软件、Web服务的研究;曾国荪 男,博士,教授,博导,从事网格计算、信息安全的研究;陈 波 男,博士研究生,副教授,从事可信软件、信息安全的研究。

性的依据，并用一种多属性决策[10,11]的方法选择最优的服务。

2 Web服务非功能属性的描述

传统的Web服务发现过程忽略了用户对服务非功能属性的需求。Web服务的非功能属性描述除服务功能接口以外的其他属性，一般包括服务质量方面的属性和服务信誉方面的属性。

2.1 Web服务质量的刻画

服务质量描述了一个服务满足用户需求的程度和能力。一般来说，Web服务质量包括可用性、安全性、可访问性、响应时间、吞吐率、并行处理能力等属性，它们从不同角度反映了服务的性能。本文考虑到实用性和可测量性，主要从可用性、可访问性、响应时间这3三个方面来刻画服务质量。

(1) 可用性：刻画服务是否就绪并可供立即访问。记 Av_i 为第 i 次服务调用的可用指数(值为1表示本次服务可用，值为0表示不可用)。n 次服务调用后，可用的总次数为 $Count_{Av}(n)=\sum_{i=1}^{n}Av_i$，则 n 次调用服务后的可用性表示为：

$$Re_{Av}(n)=Count_{Av}(n)/n \tag{1}$$

(2)可访问性：刻画实例化服务的成功率或机会。记 Ac_i 为第 i 次服务调用的可访问指数(值为1表示本次服务可访问，值为0表示不可访问)。记第 n 次服务调用后，可访问的总次数为 $Count_{Ac}(n)=\sum_{i=1}^{n}Ac_i$，则 n 次调用服务后的可访问性表示为：

$$Re_{Ac}(n)=Count_{Ac}(n)/n \tag{2}$$

(3)响应时间：指客户从提交服务请求到获得服务响应结果所消耗的时间(这里忽略传输时间)。记 Rt_i 为第 i 次服务调用的响应时间，则 n 次调用服务后的平均响应时间为：

$$Re_{Rt}(n)=\sum_{i=1}^{n}Rt_i/n \tag{3}$$

2.2 Web服务信誉的刻画

信誉也是Web服务的一类重要的非功能属性，它是服务自身真实度、服务满意度以及受用户欢迎程度的综合效应。本文从服务真实度、服务满意度和服务亲和度来刻画服务信誉。

(1) 服务真实度：服务的真实度刻画服务提供者声明的服务与实际运行时服务的偏离程度。

定义1(功能真实度 $\rho_{function}$) 刻画服务提供者声明的服务功能是否具备真实的功能描述。记 $\rho_{function}=1$，表示服务的功能真实；$\rho_{function}=0$，表示服务的功能不真实。

定义2(性能真实度 $\rho_{performance}$) 设服务提供者声明的服务质量为 $Pr_q=(Pr_1,Pr_2,Pr_3)$，Pr_1,Pr_2,Pr_3 分别代表服务提供者声明的可用性、可访问性、平均响应时间，设第 n 次服务调用后的平均服务质量记为 $R_Q(n)=(Re_1(n),Re_2(n),Re_3(n))$，其中 $Re_1(n)$ 为 $Re_{Av}(n)$，$Re_2(n)$ 为 $Re_{Ac}(n)$，$Re_3(n)$ 为 $Re_{Rt}(n)$。n 次服务调用后，服务性能真实度为：

$$\rho_{performance}=(1/3)\times\sum_{i=1}^{3}(1-|Re_i(n)-Pr_i|/Pr_i) \tag{4}$$

由于服务的功能属性是服务的最基本属性，性能真实是建立在功能真实的基础上的。由此可知，服务真实度可以表示为：

$$\rho_{real}(n)=\begin{cases}0 & ,若\ \rho_{function}=0\\ \rho_{performance} & ,若\ \rho_{function}=1\end{cases} \tag{5}$$

(2)服务满意度：服务满意度体现Web服务质量是否满足客户的预期值。

记用户期望的服务质量 $Ex_q=(Ex_1,Ex_2,Ex_3)$，其中 Ex_1,Ex_2,Ex_3 分别代表用户期望的可用性、可访问性、响应时间。对于第 i 次服务调用，此次调用的满意指数为 Sat_i。若 $Av_i=1\cap Ac_i=1\cap Rt_i<Ex_3$，则 $Sat_i=1$，否则 $Sat_i=0$。

n 次调用后，Web服务满意度为：

$$\rho_{sat}(n)=\sum_{i=1}^{n}Sat_i/n \tag{6}$$

(3)服务亲和度：服务的亲和度是影响服务信誉的重要因素。为了能遏制虚假评价(如对竞争对手的恶意评价、对自己服务的夸大评价、串通作弊等)，保证公正性，本文采用一种更客观的方法定义服务的亲和度。为描述方便，记 User=$\{user_i\}$ 为所有服务请求者的集合，Service=$\{service_i\}$ 为所有服务的集合，其中 $i=1,2,\cdots$。

设客户请求者 $user_i$ 请求服务，进行功能匹配后可选服务集合为 $\Omega\subset$Service。设客户选择了服务 $service_t\in\Omega$，若在其以后同类服务选择中仍然选择 $service_t$，则服务 $service_t$ 对客户 $Client_i$ 的亲和指数 $Wel_i=1$；若在以后服务调用中选择服务 $service_i$，满足 $service_i\in\Omega$ 且($service_i\neq service_t$)，则 $Wel_i=0$。记 m 为调用过服务 $service_t$ 的客户数目，则服务亲和度定义为：

$$\rho_{wel}=\sum_{i}^{m}wel_i/m \tag{7}$$

3 多属性决策的最优服务选择

对于满足用户功能需求的众多Web服务，用户如何选择最优服务是一个重要问题。针对Web服务各项非功能属性，本文采用一种多属性决策的方法来选择最优的服务。

3.1 非功能属性指标值的获取

基于前一节的分析，我们以可用性、可访问性、响应时间、服务真实度、服务满意度和服务亲和度为基本属性进行决策。文献[4,5]虽然也提出一些决策指标，但没有说明如何获得非功能属性的指标值。由于本文中服务信誉方面的属性是建立在服务质量的基础之上的，我们采用一种行为观测的方法，对服务运行时行为进行侦测，由客观行为进行推理，进而计算非功能属性的指标值。

定义3(服务行为) 服务行为由主体(subject)、客体(object)、时间(t)、动作(action)构成，可以表示为四元组$\langle subject,t,action,object\rangle$，其含义可解释为subject在某一时刻 t 对object执行了某一动作action。其中：

subject∈User∪Service，User和Service如2.2节所述。

action∈Eaction∪Iaction，Eaction是外部动作，描述服务请求者和服务之间的交互动作，Eaction={request，response，accept}，其中request是服务需求者向服务提供者发出SOAP请求，accept是服务提供者接受服务请求，response是服务提供者将执行结果反馈给服务需求者；Iaction刻画服务自身的内部动作，不同的服务具有不同的内部动作，内部动作的主体和客体都是服务自身。本文仅仅考虑服务功能执行时的必需内部动作。对于某一服务 $service_i\in$Service，记其内部动作为 $\{action_j(i)\}$，$j=1,2\cdots$是一个有限集合，由服务提供者声明。记'→'为引发符号，表示一种行为导致另一种行为的发生。

对于服务 $service_j$ 的第 n 次绑定，可以用行为观测的方

式计算服务的决策属性。

(1)服务可用性的观测计算

若$\langle user_i, t_1, request, service_j\rangle \rightarrow \langle service_j, t_2, accept, user_i\rangle$，则$Av_n=1$，否则$Av_n=0$。

因$Count_{Av}(n)=Count_{Av}(n-1)+Av_n$，由式(1)计算出$Re_{Av}(n)$。

(2)服务可访问性、响应时间的观测计算

若$\langle user_i, t_1, request, service_j\rangle \rightarrow \langle service_j, t_3, response, user_i\rangle$，则$Ac_n=1, Rt_n=t_3-t_1$；否则$Ac_n=0, Rt_n=T_{limit}$(其中$T_{limit}$为服务的最大响应时间，由服务提供者声明)。因$Count_{Ac}(n)=Count_{Ac}(n-1)+Ac_n$，由式(2)可以计算$Re_{Ac}(n)$，由式(3)可以计算$Re_{Rt}(n)$。

(3)服务真实度的观测计算

设行为的内部动作集为$Re_{laction}$，若$\exists action_j(i)$满足$action_j(i)\notin Re_{function}$，则$\rho_{function}=0$；否则$\rho_{function}=1$。再由(1)和(2)计算出$Re_{Av}(n), Re_{Ac}(n), Re_{Rt}(n)$，可以由式(4)计算出$\rho_{performance}$。最终由式(5)计算出$\rho_{real}(n)$。

(4)服务满意度的观测计算

由(1)和(2)计算出Av_n, Ac_n, Rt_n，结合用户期望的服务质量$Ex_q=(Ex_1, Ex_2, Ex_3)$，可知若$Av_n=1\cap Ac_n=1\cap Rt_n<Ex_3$，则$Sat_n=1$，否则$Sat_n=0$。由式(6)计算出$n$次服务调用后服务满意度$\rho_{sat}(n)$。

(5)服务亲和度的观测计算

设$service_j\in\Omega$，(Ω如2.2节所述)，有动作$\langle user_i, t_1, request, service_j\rangle$。

若$\exists\langle user_i, t, request, service_k\rangle$，满足$service_k\in\Omega$且$t_1<t$，则$Wel_i=0$。

若$\exists\langle user_i, t, request, service_j\rangle$，满足$t_1<t$，则$Wel_i=1$。

对于每个使用过$service_j$的用户，分别求其Wel_i值，由式(7)求出服务亲和度ρ_{wel}。

3.2 多属性决策的服务选择

定义4(服务决策矩阵) 设可供选择的服务为$S_i(1\leqslant i\leqslant m)$，每个服务的评价属性$f_i, 1\leqslant j\leqslant n,$，则决策矩阵定义为$X=(x_{ij})_{m\times n}$，其中$x_{ij}$代表服务$S_i$的第$j$个属性$f_i$的值。

一般来说，不同的属性指标往往具有不同的量纲和单位。为了消除量纲和单位不同所带来的影响，决策之前需要将属性指标进行无量纲化处理。对于属性指标，有效益型指标和成本型指标之分。效益型指标是指属性值越大越好的指标，成本型指标是指属性值越小越好的指标。我们记$X_j=\{x_{1j}, x_{2j}, \cdots, x_{mj}\}$，记$x_j^+=\max(X_j), x_j^-=\min(X_j), (j=1,2,\cdots,n)$。对于效益型属性，做极差变换$y_{ij}=(x_{ij}-x_j^-)/(x_j^+-x_j^-)$；对于成本型属性，做极差变换$y_{ij}=(x_j^+-x_{ij})/(x_j^+-x_j^-)$，得到经过变换后的矩阵$Y=(y_{ij})$。显然，满足$y_j^+=\max(Y_j)=1$，其中$Y_j=\{y_{1j}, y_{2j}, \cdots, y_{mj}\}$。

定义5(属性权重) 属性权重是每种属性重要程度的反映。在服务选择过程中，不同的用户对各种非功能属性有不同的侧重。本文将服务属性的重要程度细划为4个等级：重要、较重要、一般、不重要，分别对应量化值4,3,2,1。记某个用户对服务各属性的重要性描述为$(a_1, a_2, \cdots, a_n)$。其中a_j($j=1,2,\cdots,n$)均可取值1,2,3,4。对a_j进行归一化，得到属性权重$b_j=a_j/\sqrt{\sum_{i=1}^{n}a_j^2}$。

本文用一种多属性决策方法来选择最优服务。记服务$S_i=(b_1y_{i1}, b_2y_{i2}, \cdots, b_ny_{in})$，$S^+=(b_1y_1^+, b_2y_2^+, \cdots, b_ny_n^+)=(b_1, b_2, \cdots, b_n)$，显然$S^+$是各项属性都最优的理想服务。记$||S_i||=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(b_jy_{ij})^2}$，$||S^+||=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(b_jy_j^+)^2}$，$[S_i, S^+]=\sum_{j=1}^{n}b_j^2y_{ij}$，则服务$S_i$与$S^+$方向相似度可用服务$S_i$和$S^+$夹角的余弦来表示，记为$\mathrm{Cos}\theta_i=\dfrac{[S_i, S^+]}{||S_i||\cdot||S^+||}$。服务$S_i$与$S^+$长度相似度可用$D_i=1-\sqrt{\sum_{j=1}^{n}b_j^2(1-y_{ij})^2}$来表示，故可用$H_i=D_i\mathrm{Cos}\theta_i$来表示服务的效益指数。由于$D_i$和$\mathrm{Cos}\theta_i$越大，$S_i$就与$S^+$越接近，故$H_i$最大的服务就是用户所需的最优服务。

4 可信Web发现模型

基于Web服务非功能属性，本文建立一种新的服务发现模型，主要思想是：在兼容经典Web服务架构的基础上，通过在服务注册中心增加决策器、注册库，并增加信任权威机构，来实现Web服务的可信发现，使用户得到最优的服务。

4.1 模型组成

模型的框架如图1所示，主要由4部分组成，分别叙述如下。

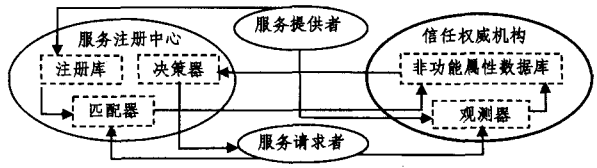

图1 可信服务发现模型框架图

(1)服务请求者：向服务注册中心发布其服务请求信息，并与服务提供者绑定来调用所需服务。

(2)服务提供者：将其所提供的服务注册到服务注册中心。

(3)服务注册中心：由匹配器、决策器、注册库组成。注册库接受服务提供者的服务注册信息；匹配器接受用户请求、查找服务并与信任权威机构进行交互；决策器根据信任权威机构的反馈选择最佳服务，并将此服务信息返回给用户。

(4)信任权威机构：客观观测和评价服务提供者提供的服务，由观测器和非功能属性数据库组成。观测器获取每次服务调用时的真实服务质量，并以此为基础计算服务真实度、服务亲和度、服务满意度，将结果保存在非功能属性数据库中。

4.2 可信Web服务发现流程

第一阶段：服务注册。服务提供者将其服务注册到服务注册中心。注册信息不仅包括服务的功能属性描述，还包括服务质量的描述Pr_q以及内部关键动作的描述laction。

第二阶段：服务请求过程。服务请求者向服务注册中心发送服务请求，该请求不仅包括功能性的需求，还包括服务质量需求。用户的服务质量需求描述如下：(属性名，类型值，用户期望，单位，属性重要性)。其中，属性名={可用性，可访问性，响应时间}；类型值={效益型，消耗型}；用户期望(Ex_q)由类型值决定：若是效益型属性，取最小值，即属性指标至少达到此值方可满足用户期望；若是成本型，取最大值，即属性指标小于此值就可满足用户期望。单位代表这一领域的标准

单位，不同单位可以换算到标准单位。属性重要性如 3.2 节中所述。例如，用户对响应时间的需求，可以表示为(响应时间，成本型，2.5，ms，3)，即用户要求响应时间至少达到 2.5ms，且响应时间属性对此用户来说比较重要。

第三阶段：服务的匹配过程。服务注册中心利用匹配器来实现服务的匹配。

(1) 首先进行功能匹配。文献[12]对服务的功能匹配进行了算法分析和实现，得到一个满足功能属性的服务列表。

(2) 通过注册库，查找以上列表服务的服务质量属性，根据用户非功能属性需求中期望值的描述进行筛选，剔除无法满足用户需求的服务，得到一个新的服务列表。

第四阶段：选择最佳的服务。

(1)服务注册中心向信任权威机构请求客观的非功能属性信息。信任权威机构查询其非功能属性数据库，并将其返回给服务注册中心的决策器。

(2)决策器根据 3.2 节的多属性决策方法，选择最优的服务。具体步骤如下：

Step 1　由各服务的属性指标值，构造决策矩阵。

Step 2　由 3.2 节中的极差变换，将决策矩阵归一化，去除各属性量纲间的差距。

Step 3　根据用户非功能属性需求中的属性重要性的描述，结合定义 5，计算属性权重。

Step 4　由多属性决策方法，计算 H_i。根据 3.2 节的分析，H_i 值最大者为最优服务。

Step 5　决策器将最优服务返回给用户。

第五阶段：观测器观测服务调用时的行为，依据 3.1 节的行为观测求出本次真实非功能属性，更新非功能属性数据库，为下次决策做准备。

5　实例分析

本文通过实验模拟网上机票预定服务。某个用户求购从上海到北京的机票，服务各非功能属性重要性程度都为一般(值为 2)。对服务非功能属性的要求有：服务反应时间不多于 30ms，进行功能匹配后的服务集合为：$\{St_i\}$，$i=1,2,\cdots,7$，共 7 个服务。经过用户期望值的筛选，反馈给信誉权威机构的服务有：St_1，St_3，St_4，St_7，信誉权威机构查询其非功能属性数据库，这 4 个服务相应的可用性为 0.95，0.83，0.67，0.89；可访问性为 0.96，0.88，0.78，0.92；响应时间为 20ms，27ms，19ms，22ms；真实度为 0.97，0.95，0.92，0.94；满意度为0.89，0.93，0.98，0.94；亲和度为 0.88，0.85，0.92，0.870。其中可用性、可访问性、响应时间、真实度、满意度、亲和度是通过行为观测的真实值计算出的，具有客观性，更有利于评估决策。信任权威机构将非功能属性值反馈给服务注册中心，决策器构造决策矩阵并计算每个服务效率指数，分别为 0.935，0.864，0.891，0.927。由于 St_1 的效益指数最大，由 3.2 节的分析，此服务为最佳。

经过服务请求的实验模拟，可以得到传统服务模型下和本模型下最终选择服务的效益指数图(如图 2 所示)，这里只给出前 20 次数据。图中系列 1 是新模型选择服务的效益指数，系列 2 是传统模型下选择服务效益指数。可见，新模型下选择的服务明显优于传统的发现模型。

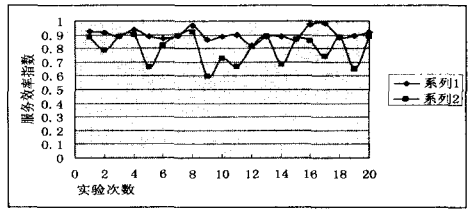

图 2　服务效益指数对比图

结束语　本文通过第三方信誉实体行为观测的机制获取最基本的服务质量指标，以此为基础计算服务真实度、服务满意度和服务亲和度这些服务信誉相关的属性指标，提出了一种新的服务发现模型，新的模型对服务的非功能属性描述提供了支持，能够很好地满足用户的性能需求，更能保证服务发现的可信，并通过多属性决策的方法为用户发现最优服务提供了解决方案。实验结果验证了本模型的合理性和优越性。

参 考 文 献

[1] Daniel A M. QoS issues in Web Service[J]. IEEE Internet Computing, 2002, 6 (6): 72-75

[2] Tian M, Voigt T. Performance Considerations for Mobile Web Services[J]. Elsevier Computer Communications Journal, 2004, 27(11): 1097-1105

[3] Bouguettaya Q M. Efficient access to Web Services[J]. IEEE Internet Computing, 2004, 8(2): 34-44

[4] Liu Yu-tu, Anne H H. QoS Computation and Policing in Dynamic Web Service Selection[J]. ACM, 2004, 8(3): 17-22

[5] Ran S. A model for Web services discovery with QoS[J]. ACM SIGCOM Exchanges, 2003, 4(1): 1-10

[6] Chen H G, Yu T, Lin K J. QCWS: An implementation of QoS-capable multimedia Web services[A]. Multimedia Software Engineering[C]. New York: IEEE Press, 2003: 38-45

[7] Maximilien E M, Munindar P S. Reputation and Endorsement for Web Services[J]. ACM SIGECOM Exchanges, 2001, 3(1): 5-16

[8] Maximilien E M, Munindar P S. Conceptual Model of Web Service Reputation[J]. ACM SIGMOD Record, 2002, 31(4): 78-89

[9] Xiong Li, Liu Ling. PeerTrust: Supporting Reputation-Based Trust for Peer-to-Peer Electronic Communities[J]. IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(7): 45-61

[10] Hwang C L, Yoon K. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications[M]. New York: Springer-Verlag, 1981

[11] Fan Z P, Ma J, Zhang Q. An approach to multiple attribute decision making based on fuzzy preference information on alternatives[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2002, 131(1): 101-106

[12] Yu T, Lin K J. Service selection algorithms for Web services with end-to-end QoS constraints [A]// The IEEE Int'l Conf. on E2Commerce Technology [C]. New York: IEEE Press, 2004: 129-136