

# QoS 感知的 Web 服务个性化推荐

江晓苏, 魏 延, 邱炳发

(重庆师范大学 计算机与信息科学学院, 重庆 401331)

**摘 要:**服务质量(Quality of Service, QoS)是 Web 服务推荐中的关键问题之一。文中提出了一种基于 QoS 感知的 Web 服务推荐模型,该模型通过 Web 服务的历史 QoS 信息训练支持向量机(SVM)得到一个服务选择函数,通过此服务选择函数匹配当前用户的服务需求,进而得到一个服务候选集,通过这种支持向量机分类方法使服务的发现和选择具有机器学习的能力。最后结合用户赋予 QoS 属性的权重偏好进行服务排序,为用户推荐最适合的服务。通过实验仿真,验证了该服务分类方法的可行性和有效性。

**关键词:**Web 服务推荐;QoS 感知;用户偏好;支持向量机

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)12-0085-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.12.020

## QoS-aware Web Services Personalized Recommendation

JIANG Xiao-su, WEI Yan, QIU Bing-fa

(College of Computer and Information Science, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:**QoS(Quality of Service, QoS) is one of the key issues in Web services recommended. A Web services recommendation model based on QoS-awareness was proposed in this paper. This model trains Support Vector Machine (SVM) to get a service selection function through Web services history QoS information, by the use of the service selection function matching the current user's demand for services, then get a service candidate set, through the SVM classification method makes the services discovery and selection has the ability of machine learning. Finally, combined with the user given QoS attributes weights, order all services and recommend the most appropriate service for users. The experimental simulation shows that this service classification method is feasible and effective.

**Key words:**Web services recommendation; QoS-awareness; user preferences; support vector machine

## 0 引 言

随着 Web 服务的迅速发展和广泛应用,从众多功能相似的服务中有效地发现合适的服务已逐渐成为一个热点问题<sup>[1]</sup>。服务质量(QoS)是 Web 服务推荐中度量 Web 服务非功能属性的一项重要指标,其中每个属性表征服务在某一侧面的质量信息,具有一个属性值,如响应时间、费用、可靠性等<sup>[2]</sup>。鉴于用户在选择服务时基本首先考虑其非功能属性,因此根据服务质量 QoS 来发现 Web 服务已取得了一些研究成果。

文献[3]提出一种支持 QoS 和用户需求的 Web 服务选择模糊算法,通过对用户的 QoS 需求和偏好去模糊化处理选择出最适合用户的服务。文献[4]在功能匹配的基础上,结合用户 QoS 约束和 QoS 属性偏好,更好地满足了用户对服务质量的需求。文献[5-

7]基于聚类思想,对功能相似而 QoS 不同的语义 Web 服务先分类后排序,缩小了搜索范围,在满足功能和质量要求的同时,提高了服务发现的效率。

在前人基础上,文中提出一种以 Web 服务的 QoS 属性为依据的服务推荐模型。该模型采用支持向量机方法对服务分类,缩小了搜索范围且比较有效。一般评价方法中,加权向量和评价矩阵的确定包含了一定的主观因素的作用,文中采用 SVM 分类方法可以提高评价结果的客观性,而且, SVM 能够减小归一化参数集,与其他统计决策方法相比,即使在样本个数很小的时候也能获得较高的准确率<sup>[8]</sup>。另外,缩小服务搜索范围后采用层次分析法能够比较客观地生成权重向量而不是直观的给定,使最后选择的服务更加合理公正。

收稿日期:2015-03-10

修回日期:2015-06-12

网络出版时间:2015-11-04

基金项目:重庆市研究生科研创新项目(CYS14135)

作者简介:江晓苏(1989-),女,硕士研究生,研究方向为 Web 服务、数据挖掘;魏 延,教授,硕导,研究方向为机器学习与智能计算、支持向量机理论与算法、模糊推理、数据挖掘等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20151104.0953.096.html>

## 1 推荐模型的基本结构

在经典的 SOA 体系中,Web 服务推荐一般与服务发现组件协同工作,Web 服务向服务注册中心提交自己的注册信息,用户将自己的需求提交给服务注册中心,服务注册中心根据用户需求在所有注册的服务中检索出一组功能相似的服务,然后从中选出一个最合适的服务推荐给用户。传统的方案中,Web 服务中心提交的服务信息不含服务的非功能性信息,如服务的 QoS。一些新的 Web 服务注册中心通过扩展 UDDI 的方式增加了服务的 QoS 信息<sup>[9-10]</sup>,文中在这种扩展 UDDI 的基础上提出了一个服务推荐模型,其基本结构如图 1 所示。

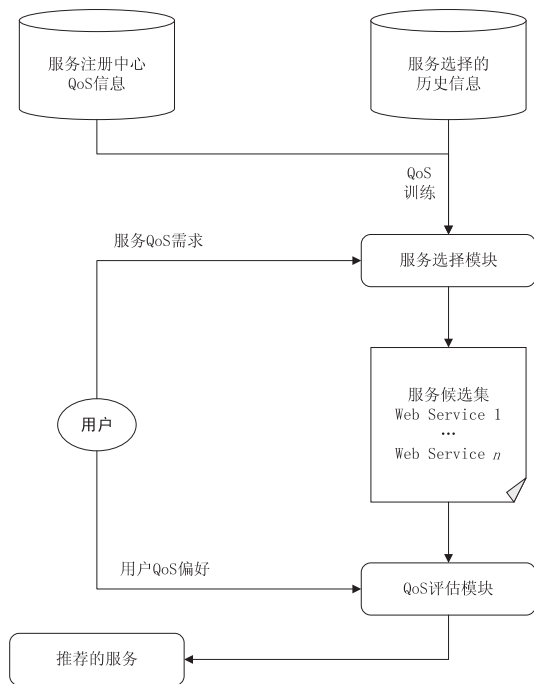


图 1 服务推荐模型的基本结构

推荐模型主要包括两个模块:

(1) 服务选择模块。本模块为服务选择具有一定机器学习的能力提供了有效的支撑,主要是把服务注册中心的 QoS 信息、服务选择的历史信息以及用户的服务 QoS 需求,输入具有学习分类机制的支持向量机进行训练,获得服务分类决策函数,并得到一个服务候选集。

(2) QoS 评估模块。在得到的服务候选集中,结合用户的 QoS 个性化偏好考虑权重进行服务计算,通过排序后,最后选择分数最高的服务给用户。

## 2 SVM 服务分类选择

### 2.1 QoS 属性建模

Web 服务的 QoS 属性决定了一个服务的实用性和可用性等方面,它是 Web 服务的必需组成元素,考虑服务的 QoS 属性来选择服务是一个至关重要且意

义重大的挑战。文中主要从用户的角度出发考虑 QoS,因此,主要关心与 Web 服务性能有关的通用属性,主要从响应时间、费用、吞吐量、可靠性和可用性这五个方面来考虑。

定义 1: QoS 描述向量。定义 Web 服务 QoS 描述向量  $Q = \{(q_{11}, q_{12}, \dots, q_{1a}), (q_{21}, q_{22}, \dots, q_{2b}), \dots, (q_{s1}, q_{s2}, \dots, q_{se})\}$ 。其中,5 个子向量分别为响应时间 QoS、费用 QoS、吞吐量 QoS、可靠性 QoS、可用性 QoS,且这 5 个子向量的大小分别为  $a, b, \dots, e$ 。向量  $Q$  表述了 QoS 实际指标的度量和用户对理想服务 QoS 指标的要求。

定义 2: 约束值  $k(q, u)$ 。约束关系  $k$  是度量空间上的二元关系,其第一个分量  $q$  表示 Web 服务 QoS 属性的实际指标,其第二个分量表示用户对理想服务 QoS 属性的需求值。如果用户对某项属性没有要求,对应约束值是空值。

结合定义 1 和定义 2, QoS 需求向量可以表示为:

$$Q_{\text{req}} = \{(k_{11}(q_{11}, u_{11}), \dots, k_{1a}(q_{1a}, u_{1a})), \dots, (k_{s1}(q_{s1}, u_{s1}), \dots, k_{se}(q_{se}, u_{se}))\}$$

### 2.2 QoS 属性度量

当前大多数对 QoS 属性度量的研究都相对比较简单,如对于可访问性度量,大多基于固定长度时间内可访问时间的比例进行计算;对于响应时间的度量,是基于一定次数访问的平均响应时间进行度量。然而,在实际研究中发现一般的 QoS 属性度量方法不足以全面而精确地描述 Web 服务的运行特性。文中采用文献[11]提出的基于 Web 服务 QoS 的度量方法进行服务质量参数的量化。采用一个五元组  $T < \text{Name}, \text{ID}, \text{Description}, \text{ClassName}, \text{OperationName} >$  来表示度量方法。其中, Name 表示该度量方法的名称, ID 是该度量方法的 ID 号, Description 是对该度量方法的描述, ClassName 是该度量方法对应的类名, OperationName 记录了度量方法对应的操作名。

定义 3: QoS 度量矩阵  $Q_T$ 。从服务 QoS 模型中选出  $n$  个关键指标,用度量矩阵来度量和评价服务  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$  中各服务的 QoS 指标。

$$Q_T = \begin{bmatrix} q_{11} & \dots & q_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{m1} & \dots & q_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

QoS 属性存在正属性和负属性的差别。正属性表示效益型属性,比如可靠性、可用性等,数值越大则服务的质量越高;负属性表示成本型属性,如响应时间和费用,属于越低越好。由于 QoS 属性物理意义不同,计量单位也不同,因此需要对增量型的正属性和减量型的负属性 QoS 指标进行规范化处理<sup>[12]</sup>。

增量型 QoS 属性规范化:

$$q_{ij} = \begin{cases} \frac{q_{ij} - q_j^{\min}}{q_j^{\max} - q_j^{\min}}, & \text{if } q_j^{\max} - q_j^{\min} \neq 0 \\ 1, & \text{if } q_j^{\max} - q_j^{\min} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

减量型 QoS 属性规范化:

$$q'_{ij} = \begin{cases} \frac{q_j^{\max} - q_{ij}}{q_j^{\max} - q_j^{\min}}, & \text{if } q_j^{\max} - q_j^{\min} \neq 0 \\ 1, & \text{if } q_j^{\max} - q_j^{\min} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

其中, 假设  $q_j^{\max} = \text{Max}(q_{ij}), 1 \leq i \leq n, q_j^{\min} = \text{Min}(q_{ij}), 1 \leq i \leq n, q_j^{\max}$  是 QoS 度量矩阵中第  $j$  个标准中的最大值,  $q_j^{\min}$  是 QoS 度量矩阵中第  $j$  个标准中的最小值。

用式(2)和式(3)对矩阵进行处理后得到如下矩阵:

$$\mathbf{Q}'_T = \begin{bmatrix} q'_{11} & \cdots & q'_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ q'_{m1} & \cdots & q'_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

在以上基础上定义一个效用函数  $F(S_i)$ :

$$F(S_i) =$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n w_i * q'_{ij} + q_k, & \text{if } \forall j, 1 \leq j \leq n, k_j(q_{ij}, u_j) \text{ is true} \\ 0, & \text{if } \forall j, 1 \leq j \leq n, k_j(q_{ij}, u_j) \text{ is false} \end{cases} \quad (5)$$

向量  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  表示每个 QoS 参数在效用所占的比重, 它反映了  $n$  个 QoS 属性值相对重要性的一种量化。  $q_k$  表示其他因素对服务效用产生影响的量化。通过效用函数对用户 QoS 需求与服务提供者的服务能力建立了联系, 并进行了具体的量化, 保证了服务预期与用户提出需求越接近的服务在推荐服务候选集中能优先被用户选择。

### 2.3 SVM 分类选择

QoS 度量矩阵包含了很大的主观因素, 为了减少主观因素的作用, 文中采用支持向量机分类方法, 提高评价结果的客观性。SVM 的分类选择主要包括几个方面: 从历史数据库中选择服务的 QoS 属性转化为 SVM 的训练样本; 从训练样本中选择特征向量; 构造符合分类要求的决策函数; 对服务请求者提出 QoS 数据进行特征提取, 使它符合决策函数输入参数的形式要求。

历史数据库中的基于五元组的服务 QoS 信息, 按照上述度量方法规范化后转化为定义要求的 QoS 描述向量。特征提取后得到 SVM 的训练样本  $S = \{(q_1, y_1), (q_2, y_2), \dots, (q_n, y_n)\}$ ,  $q_i$  为服务 QoS 特征向量,  $y_i$  为对应  $q_i$  的服务标识,  $y_i \in \{-1, 1\}$ 。其中, 标识为  $-1$  的数据为负类, 表示不符合用户的 QoS 需求; 标识  $1$  为正类, 表示符合用户的 QoS 需求。通过支持向量机找到一个超平面把训练样本数据中的正类点和负类

点分开, 并且使它们的间隔最大。上述文字的数学形式表示如下:

$$\begin{aligned} \min & \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 + c \sum_{i=1}^n \xi_i \\ \text{s. t. } & y_i(\mathbf{w}\varphi(Q_i) + b) \geq 1 - \xi_i \end{aligned} \quad (6)$$

$$\xi_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n$$

转化为 Wolf 对偶问题, 可以得到如下的支持向量机:

(1) 已经训练的训练集  $S = \{(q_1, y_1), (q_2, y_2), \dots, (q_n, y_n)\}$ 。

(2) 设置惩罚参数  $C$ , 并构造如下最优化问题:

$$\begin{aligned} \min & \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_i y_j a_i a_j K(Q_i, Q_j) - \sum_{i=1}^n a_i \\ \text{s. t. } & \sum_{i=1}^n a_i y_i = 0, 0 \leq a_i \leq C, i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

解出最优解  $\mathbf{a}^* = (a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*)^T$ 。

(3) 计算  $\mathbf{w}^* = \sum_{i=1}^n a_i^* y_i Q_i$ , 选取  $\mathbf{a}^*$  的一个小于  $C$  的正分量  $a_j^*$ , 则:

$$b^* = y_j - \sum_{i=1}^n a_i^* y_i (Q_i \cdot Q_j)$$

(4) 构造分类超平面:  $(\mathbf{w}^* \cdot \mathbf{Q}) + b^* = 0$ , 求出决策函数:

$$f(Q) = \text{sgn}((\mathbf{w}^* \cdot \mathbf{Q}) + b^*) = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^n y_i a_i^* (Q_i \cdot Q_j) + b^*\right)$$

由此得出的决策函数  $f(Q)$  可以获取服务 QoS 是否满足用户的要求, 当  $f(Q) = 1$  时, 表示满足用户提出的 QoS 要求; 当  $f(Q) = -1$  时, 表示不满足用户提出的 QoS 要求。

决策函数  $f(Q)$  实现了基于服务 QoS 的定性选择, 但不能定量地反映服务 QoS 符合用户提出的目标要求的具体的量化程度。

支持向量机的实质就是找到一个超平面用来分割数据点, 当数据点离分割超平面的距离越大表示其符合要求的程度越高。因此, 可以构造一个函数  $g(Q)$  用来计算数据点  $Q$  与超平面之间的距离, 用  $g(Q)$  来定量地表示服务的 QoS 与用户提出需求目标的拟合程度。

$$g(Q) = \frac{(\mathbf{w}^* \cdot \mathbf{Q}) + b^*}{\|\mathbf{w}^*\|} \quad (7)$$

当  $g(Q)$  越大, 即  $\frac{1}{\|\mathbf{w}^*\|}$  越大, 表示数据点  $Q$  与超平面的距离越远, 这时选取服务的 QoS 越接近用户提出的 QoS 需求; 当  $g(Q)$  越小, 即  $\frac{1}{\|\mathbf{w}^*\|}$  越小, 表示数据点  $Q$  与超平面的距离越近, 这时选取服务的 QoS 越不符合用户提出的 QoS 需求。

3 QoS 个性化偏好选择

如果在 Web 服务选择中考虑用户 QoS 的个性化,那么主要表现为在满足消费者对功能需求的基础上,从众多候选服务集中选出满足服务消费者的性能指标并且基于 QoS 属性的优先权<sup>[13]</sup>。通常这个过程中首先要将 QoS 的优先级进行量化,然后以具体的数值形式表现出来得到权重向量,再结合各个服务的客观的 QoS 属性值来综合评估。文中通过层次分析法(Analytical Hierarchy Process, AHP)<sup>[14]</sup>将定性的 QoS 偏好转化为可以定量计算的问题,此方法于 1971 年由美国著名运筹学家匹兹堡大学的 T. L. Saaty 教授提出,它是对定性问题进行定量分析的一种简单、灵活而实用的多准则决策方法。

定义 4: 用户 QoS 偏好模型。用一个二元组  $QoW = \langle q_i, W_i \rangle$  表示用户的权值向量,其中  $W_i$  是服务的第  $i$  个 QoS 指标  $q_i$  对应的权重,  $0 \leq W_i \leq 1$  且  $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ 。用户偏好模型为:

$$U = \langle ID, QoW, QoW_{new} \rangle$$

(8)

其中,  $U$  表示一个用户;  $ID$  为注册  $ID$ , 表示用户的识别字段;  $QoW$  为用户的历史 QoS 权值向量;  $QoW_{new}$  为用户最后一次调用成功 QoS 的权值向量。

根据层次分析法原理,首先需要建立一个 QoS 指标比较矩阵。

$$C_{ij} = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

(9)

矩阵中的元素对应 QoS 指标之间两两比较的结果。根据 Satty 建议用九个等级来确定结果,如果认为  $c_i$  与  $c_j$  同等重要,则用  $c_{ij} = 1$  表示;如果认为  $c_i$  比  $c_j$  略微重要,则用  $c_{ij} = 3/1$  表示,反之为  $1/3$ ;如果认为  $c_i$  比  $c_j$  相当重要,则用  $c_{ij} = 5/1$  表示,反之为  $1/5$ ;如果认为  $c_i$  比  $c_j$  明显重要,则用  $c_{ij} = 7/1$  表示,反之为  $1/7$ ;如果认为  $c_i$  比  $c_j$  绝对重要,则用  $c_{ij} = 9/1$  表示,反之为  $1/9$ 。

定义 5: 若矩阵  $C = (c_{ij})_{n \times n}$  满足  $c_{ij} > 0, c_{ii} = 1, c_{ji} = 1/c_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n$ , 则称矩阵  $C$  为正互反判断矩阵。

定义 6: 若矩阵  $C$  为正互反判断矩阵,  $C$  中  $c_{ij}, c_{jk}, c_{ik}$ , 满足  $c_{ij} * c_{jk} = c_{ik}, i, j, k = 1, 2, \dots, n$ , 则称  $C$  为一致矩阵。

当用户对自己的偏好认识比较模糊时,比较矩阵  $C$  可能具有不一致性,对矩阵的一致性检查就是对主观判断是否矛盾的一个检验。Satty 等采用一致性指标  $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$  来确定多大程度的非一致性是可以的。当且仅当  $C$  为一致性矩阵时  $CI=0$ ;  $CI$  的值越大,那么  $C$  的非一致性越严重。接下来进一步计算随机

一致性比率,即  $CR = \frac{CI}{RI}$ , 其中  $RI$  为平均随机一致性指标,由 Satty 给出,其值如表 1 所示。

表 1 平均随机一致性指标

矩阵阶数	RI
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.52
12	1.54
13	1.56
14	1.58

当  $CR < 0.1$  时,则表示符合一致性。此时求出矩阵  $C$  的最大特征根  $\lambda_{max}$  对应的标准化特征向量,也就是权值向量  $QoW$ 。

根据上文得到权值向量后,结合 QoS 客观属性值采用线性加权和方法为服务打分,其计算公式为:

$$S_{Value} = \sum_{i=1}^n (W_i * q_i)$$

(10)

其中,  $W_i$  为 QoS 属性的第  $i$  个分量的权重;  $q_i$  为 QoS 属性的第  $i$  个分量的值;  $n$  代表 QoS 属性总个数;  $S_{Value}$  为一个服务最后的得分。

对候选服务集中的服务排序之后,选择结果最高的服务推荐给当前用户。

综上所述,QoS 感知的 Web 服务个性化推荐算法如下:

步骤 1: 建立 QoS 描述模型,对用户的服务 QoS 需求进行特征规格化处理;

步骤 2: 从历史数据库中选择服务的 QoS 描述信息,规范化处理后输入 SVM 进行训练学习,得到一个服务选择分类决策函数;

步骤 3: 将用户请求的经过规格化处理后的服务 QoS 特征向量输入服务选择决策函数,经过匹配得到一个服务候选集;

步骤 4: 结合用户偏好,在服务候选集中,使用层次分析法模糊计算出每个属性对应的权重并给服务排序,输出得分最高的服务给用户。



4 实验仿真

4.1 实验环境与评价指标

文中使用 LIBSVM 这个通用的支持向量机软件包来验证文中提出的分类方法的可行性和有效性,采用 WS-DREAM 提供的数据集<sup>[15-16]</sup>。LIBSVM 软件提供的各种功能都是由 DOS 命令执行,文中主要运用到两个程序,svmtrain(训练模块)和 svmpredict(使用已有的模型进行预测)。WS-DREAM 数据集包括响应时间和吞吐量两个 QoS 属性真实数据。在此基础上增加了费用、可靠性和可用性三个 QoS 属性。

通过计算召回率和准确率对训练的 SVM 分类器进行量化评测。

召回率 =  $\frac{\text{某类被正确分类的样本数}}{\text{该类的实际样本数}}$  (11)

准确率 =  $\frac{\text{某类被正确分类的样本数}}{\text{被分类器分为该类的样本数}}$  (12)

4.2 实验步骤和结果

实验主要从两个方面来验证,最后综合考虑分析实验结果。第一步是在相同的训练样本数和测试样本数上采用不同的核函数,主要考虑三个核函数,线性核函数、多项式核函数和径向基核函数,检验不同核函数对 SVM 分类过程中准确率和召回率的影响。第二步是分别选取 20%、40%、60%、80% 的样本作为训练样本集,通过改变训练样本占的比例的不同来检验分类过程中的召回率和准确率。实验结果见图 2 和图 3。

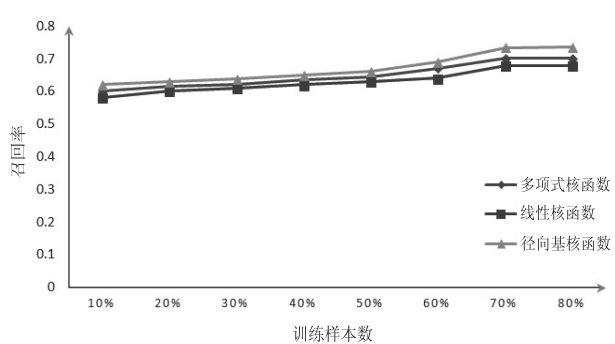


图 2 不同核函数对应的训练样本数对召回率的影响

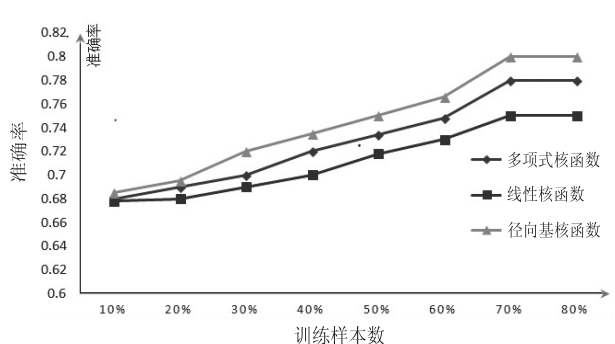


图 3 不同核函数对应的训练样本数对准确率的影响

从以上的结果分析可知,不同的核函数的选择对 SVM 分类的结果有一定的影响。径向基核函数的分类召回率和准确率比线性核函数和多项式核函数都要高,特别是在准确率方面径向基核函数有明显的优势,由此可知径向基核函数的分类效果最好。但是受训练方式、特征向量等其他因素的影响,以上三种的分类结果并不总是如此,目前还没有统一的核函数选择的科学方法,还需进一步研究。另外,当训练样本不是很多的时候,召回率和准确率都不是很高,随着训练样本的增加,模型的分类效果越来越好,但是当样本数从 70% 增加到 80% 时,召回率和准确率的变化不再明显,说明到达一定的临界点之后,尽管继续增加训练样本数量,但是其分类效果没有明显提高。总体来看,采用 SVM 对服务分类的方法是可行且有效的。

4.3 服务推荐实例

从上述实验结果分析,选择径向基核函数,80% 的训练样本用 SVM 学习机对 QoS 信息进行分类,根据分类决策函数得到服务候选集,将此候选集应用一个具体的实例中结合用户偏好进行服务选择。比如,当某用户需要某个服务时,通过服务查找得到了三个功能相似的候选服务  $s_1, s_2, s_3$ , 如何从中选择最合适的服务呢? 文中主要考虑服务 QoS 的五项指标:响应时间(time)、费用(cost)、吞吐量(thr)、可靠性(rel)和可用性(ava)。各项指标见表 2。

表 2 候选服务集 QoS 属性值

Service	time	cost	thr	rel	ava
$s_1$	65	45	650	0.95	0.85
$s_2$	76	50	800	0.82	0.90
$s_3$	80	30	550	0.93	0.96

在层次分析法中,评估的指标默认为越大越好,而在服务推荐问题中响应时间和费用越小越好。为解决此问题,下面先对数据进行规范化处理,按照上文介绍的,响应时间和费用是减量型质量属性,吞吐量、可靠性和可用性是增量型质量属性。按照式(2)和(3)规范化处理后得到矩阵  $E_{m \times n}$ 。

$$E_{m \times n} = \begin{bmatrix} 1 & 0.25 & 0.4 & 1 & 0 \\ 0.27 & 0 & 1 & 0 & 0.46 \\ 0 & 1 & 0 & 0.85 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

根据用户偏好构造判断矩阵,假设用户最看重费用,其次是响应时间,对吞吐量、可靠性和可用性不是很看重,可以构造判断矩阵  $Q_{i,j}$  :

$$Q_{i,j} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 4 & 3 & 1/2 \\ 1/4 & 1 & 1 & 1/2 & 1/5 \\ 1/4 & 1 & 1 & 1/2 & 1/5 \\ 1/3 & 2 & 2 & 1 & 1/5 \\ 2 & 5 & 5 & 5 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

该判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max} = 5.07$ ,  $CI = \frac{5.07 - 5}{5 - 1} = 0.0175$ ,  $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0175}{1.12} = 0.0156 < 0.1$ , 则矩阵  $Q_{i,j}$  具有一致性, 得到权重向量  $QoW = [0.285, 0.072, 0.072, 0.116, 0.455]$ 。根据  $S_{\text{value}} = E_{m \times n} * QoW^T$  有:

$$S_{\text{value}} = \begin{bmatrix} 1 & 0.25 & 0.4 & 1 & 0 \\ 0.27 & 0 & 1 & 0 & 0.46 \\ 0 & 1 & 0 & 0.85 & 1 \\ 0.285 & 0.072 & 0.072 & 0.116 & 0.455 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 0.4478 \\ 0.3583 \\ 0.6256 \end{bmatrix}$$

故服务  $S_3$  最符合用户需求。

## 5 结束语

针对目前服务选择难度大的问题, 文中提出了一种基于支持向量机分类和用户个性化偏好的 Web 服务推荐模型。该模型通过支持向量机学习训练服务注册中心的服务质量信息、服务选择的历史信息和用户请求的服务质量信息, 最终得到一个服务候选集, 经过这种筛选之后缩小了服务选择的范围, 再结合用户的个性化偏好, 利用层次分析法计算 QoS 属性的权重, 通过最终的服务排序, 选择出最适合用户的服务。实验验证了这种方法的正确性。在今后的研究中, 除了考虑提高服务发现的效率外, 还应将影响服务推荐的其他因素考虑其中, 比如上下文情境和偏好不确定等因素, 从而为用户推荐更加合适的服务。

## 参考文献:

- [1] 邱田, 李鹏飞, 林品. 一个基于概念语义近似度的 Web 服务匹配算法[J]. 电子学报, 2009, 37(2): 429-432.
- [2] Ran S. A model for Web service discovery with QoS[J]. ACM SIGecom Exchanges, 2003, 4(1): 1-10.
- [3] 施荣荣, 周晓明, 郭成昊. 支持 QoS 和用户需求的 Web 服务选择模糊算法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(5): 1748

-1751.

- [4] 冯建周, 孔令富. 基于模糊 QoS 和偏好权重的 Web 服务组合方法研究[J]. 小型微型计算机系统, 2012, 33(7): 1516-1521.
- [5] 白雯, 李蜀瑜, 杜学智. 模糊 C-均值聚类语义 Web 服务发现[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(11): 4182-4186.
- [6] 马华, 李建华, 陈松乔, 等. 基于本体聚类的面向业务用户服务发现模型[J]. 计算机工程, 2007, 33(4): 215-217.
- [7] 武彩红, 李蜀瑜. 基于聚类的 QoS 语义 Web 服务发现研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(3): 132-136.
- [8] Millet-Roig J, Ventura-Galiano R, Chorro-Gasco F J, et al. Support vector machine for arrhythmia discrimination with wavelet-transform-based feature selection[J]. Computers in Cardiology, 2000(4): 407-410.
- [9] Shi Weiguang, Kencl L. Sequence-preserving adaptive load balancers[C]//Proc of ACM/IEEE symposium on architecture for networking and communications systems. San Jose, CA: Association for Communications Systems, 2006.
- [10] Wolf T, Franklin M A. Locality-aware predictive scheduling of network processors[C]//Proc of IEEE international symposium on performance analysis of systems and software. [s. l.]: IEEE Computer Society, 2001: 152-159.
- [11] 邵凌霄, 李田, 赵俊峰, 等. 一种可扩展的 Web Service QoS 管理框架[J]. 计算机学报, 2008, 31(8): 1458-1470.
- [12] 曹利培, 李爱玲, 刘静. 基于 QoS 的两阶段 Web 服务选择方法[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(3): 747-751.
- [13] 梁泉, 王元卓. 网络计算环境下 QoS 偏好的处理策略及其应用[J]. 计算机应用, 2009, 29(6): 1502-1505.
- [14] Saaty T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw Hill, 1980.
- [15] Zheng Zibin, Zhang Yilei, Lyu M R. Distributed QoS evaluation for real-world Web services[C]//Proceedings of the 8th international conference on web services. Washington D C, USA: IEEE Computer Society, 2010: 83-90.
- [16] Zhang Yilei, Zheng Zibin, Lyu M R. Exploring latent features for memory-based QoS prediction in cloud computing[C]//Proceedings of the 30th IEEE symposium on reliable distributed systems. Washington D C, USA: IEEE Computer Society, 2011: 1-10.

(上接第 84 页)

- neural network[J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(16): 2190-2200.
- [10] Bosson A, Cawley G C, Chan Y, et al. Non-retrieval; blocking pornographic images[C]//Proc of international conference on image and video retrieval. [s. l.]: [s. n.], 2002.
- [11] Jeong C Y, Kim J S, Hong K S. Appearance based nude image detection[C]//Proceedings of the 17th international conference on pattern recognition. [s. l.]: IEEE, 2004: 467-470.
- [12] 周建政, 陈法叶, 姚金良. 一种基于 SVM 的网络不良图像

过滤方法[J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(5): 251-253.

- [13] Plissiti M E, Nidou C, Charchanti A. Watershed-based segmentation of cell nuclei boundaries on Pap smear images[C]//Proc of 2010 10th IEEE international conference on information technology and applications in biomedicine. [s. l.]: IEEE, 2011: 145-149.
- [14] Mao S, Chan Y, Chu Y. Edge enhancement nucleus and cytoplasm contour detector of cervical smear images[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2008, 38(2): 353-366.

QoS感知的Web服务个性化推荐

作者：[江晓苏](#)，[魏延](#)，[邱炳发](#)，[JIANG Xiao-su](#)，[WEI Yan](#)，[QIU Bing-fa](#)  
作者单位：[重庆师范大学 计算机与信息科学学院, 重庆, 401331](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)  
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)  
年，卷(期)：2015, 25(12)

引用本文格式：[江晓苏](#). [魏延](#). [邱炳发](#). [JIANG Xiao-su](#). [WEI Yan](#). [QIU Bing-fa](#) [QoS感知的Web服务个性化推荐](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(12)