

## 一种新的 QoS 全局最优 Web 服务选择算法

李金忠, 夏洁武, 刘昌鑫, 曾劲涛, 李满华  
(井冈山大学 电子与信息工程学院, 江西 吉安 343009)

**摘 要:** 针对运用单目标优化算法求解基于 QoS 的 Web 服务选择问题的不足, 设计了一种新的 QoS 全局最优 Web 服务选择算法. 该算法同时优化组合服务的多维 QoS 属性的多个目标函数, 并产生 QoS 全局最优的 Pareto 最优解集. 首先建立服务选择问题的多目标优化数学模型, 然后采用归档式多目标模拟退火设计该算法以优选 Web 服务. 实验结果表明了该算法是可行的, 实现了全局 QoS 最优化的组合服务.

**关键词:** 服务质量; Web 服务; 服务选择; 多目标模拟退火算法

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2013)03-0097-05

## A New Web Services Selection Algorithm with QoS Global Optimal

LI Jin-zhong, XIA Jie-wu, LIU Chang-xin, ZENG Jin-tao, LI Man-hua

(School of Electronic and Information Engineering, Jinggangshan University, Ji'an 343009, China)

**Abstract:** In order to overcome the lack of applying single-objective optimization algorithm for the problem of Web Services selection based on QoS, a new web services selection algorithm with QoS global optimal is presented. The proposed algorithm obtained the Pareto-optimal solutions of QoS global optimal by simultaneously optimized multiple objective functions of multi-dimensional QoS properties of composite service. Firstly, we model the service selection as multi-objective optimization problem. Then, based on an archived multi-objective simulated annealing, we design the proposed algorithm to select Web services optimally. Experimental results indicate the proposed algorithm is feasible and realizes composite service with QoS global optimal.

**Key words:** quality of service (QoS); web service; services selection; multi-objective simulated annealing algorithm

### 1 引言

基于 QoS 的 Web 服务选择是服务计算中的一个研究热点, 较流行的基于 QoS 的 Web 服务选择算法主要是采用启发式算法, 如粒子群算法<sup>[1]</sup>、蚁群算法<sup>[2]</sup>、模拟退火算法<sup>[3]</sup>等. 这些代表文献中, 虽然考虑了多个 QoS 属性, 但采用的求解方法是单目标优化算法, 其本质是单目标优化. 所获得的解是满足约束条件的单目标最优解, 难以体现用户对 QoS 的偏好和个性化需求, 导致难以正常实施优化或优化效果差, 某种实际意义上并没有真正解决多 QoS 属性的 Web 服务选择问题<sup>[4]</sup>. 在实际应用中我们所要找的最优解往往并不一定是所有 QoS 属性的最优

解, 而是 Pareto 优化解, 故需要寻找能同时多目标优化多维 QoS 属性的 Web 服务选择算法. 多目标优化算法应用于 Web 服务选择是一个重要的研究方向. 方其庆<sup>[5]</sup>等采用多目标蚁群算法设计了一种 QoS 全局最优的多目标 Web 服务选择算法, 刘书雷<sup>[6]</sup>等采用多目标遗传算法的智能优化原理, 提出了一种服务聚合中 QoS 全局最优服务动态选择算法, 而将多目标模拟退火算法运用于解决 Web 服务选择问题的研究成果还很少见.

多目标模拟退火算法适用于解决多目标组合优化问题, 而基于 QoS 的 Web 服务选择问题本质上是一个多目标组合优化问题, 且受采用模拟退火算法解决 Web 服务组合问题<sup>[3]</sup>等文献的启发, 本文运

**收稿日期:** 2012-06-10; **修回日期:** 2012-07-08

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(61163062); 江西省教育厅科技项目(GJJ12487); 吉安市科技局计划项目(2011-19)

用 S Bandyopadhyay<sup>[7]</sup>等新近开发的归档式多目标模拟退火算法,设计了一种新的 QoS 全局最优 Web 服务选择算法.用于解决基于 QoS 的 Web 服务选择问题,同时多目标优化服务时间、服务费用、可靠性、可用性和声誉这 5 维 QoS 属性,以产生 Pareto 最优解集,供决策者依用户偏好和实际需求选择最满意的解,从而实现 QoS 全局最优化的服务选择.

## 2 问题描述和多目标优化的数学模型

基于 QoS 的 Web 服务选择问题是指如何从服务组合各抽象服务的候选服务集中分别选出一个具体服务,使得选中的这组服务(即组合服务)的整体 QoS 最优.该问题本质上是 QoS 属性的多目标组合优化问题,故有必要采用多个目标函数以选择具有多维 QoS 属性较优的组合方案.假定 CS 为一组合服务,由  $n$  个抽象 Web 服务 AWS 组成,即

$CS = \{AWS_1, AWS_2, \dots, AWS_n\}$ , 每个抽象 Web 服务  $AWS_i (i = 1, 2, \dots, n)$  对应一个候选 Web 服务集合  $CWS_i = \{WS_{i,1}, WS_{i,2}, \dots, WS_{i,N_i}\}$ ,  $N_i$  表示第  $i$  个抽象 Web 服务所对应的该候选 Web 服务集合中候选 Web 服务的个数.对于每个候选 Web 服务  $WS_{i,j}$ ,它拥有  $m$  个 QoS 属性(如服务时间、服务费用、可靠性、可利用性、声誉等属性),定义为向量  $q(WS_{i,j}) = \{q_{i,j}^1, q_{i,j}^2, \dots, q_{i,j}^m\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, N_i$ , 且  $q_{i,j}^k (k = 1, 2, \dots, m)$  表示  $WS_{i,j}$  的第  $k$  维 QoS 属性值,这些 QoS 属性可不作统一量化.服务组合方案  $P = \{< AWS_1, WS_{1,j_1} >, < AWS_2, WS_{2,j_2} >, \dots, < AWS_n, WS_{n,j_n} >\} (j_i = 1, 2, \dots, N_i)$ , 其中  $WS_{i,j_i} \in CWS_i$ . 而组合服务 CS 的各维全局 QoS 属性值是通过对所选的  $n$  个具体 Web 服务的各维 QoS 属性计算得到的,对应由  $m$  个目标函数组成,即  $Q_P(CS) = \{f_1(P), f_2(P), \dots, f_m(P)\}$ , 其中目标函数  $f_k(P) = \coprod_{i=1}^n (q_i^k)$  表示组合方案  $P$  的第  $k$  维全局 QoS 属性值,此处  $k = 1, 2, \dots, m$ ,  $\coprod$  代表某种全局 QoS 属性的计算方法,依据组合服务所含控制结构(如顺序、选择、循环和并行等)的不同,其计算方法不同<sup>[1]</sup>.  $q_i^k$  表示  $AWS_i$  所选的具体 Web 服务的第  $k$  维 QoS 属性值.对不同 QoS 属性,有的是效益型,其值越大越好,如可靠性、可用性和声誉等;有的是成本型,其值越小越好,如服务时间、服务费用等.为了对组合服务的各维全局 QoS 属性优化时进行统一,本文将效益型的 QoS 属性通过转化方法将其目标函数值也转化为以值小者为优,从而同时进行最小化,而进行评价时,再将效益型的 QoS 属

性还原成以值大者为优.则基于 QoS 的 Web 服务选择问题可建立如下多目标优化的数学模型:

$$\text{Minimize } Q_P(CS) = \{f_1(P), f_2(P), \dots, f_m(P)\} \quad (1)$$

$$f_k(P) = \coprod_{i=1}^n (q_i^k) \quad (2)$$

本模型可扩展任意多维 QoS 属性,只要能给出计算该维 QoS 属性的方法即可扩展到该模型中去.

## 3 新的 QoS 全局最优 Web 服务选择算法 WS-AMOSA

QoS 全局最优的 Web 服务选择本质上是 QoS 属性的多目标组合优化,因此,有必要采用多维 QoS 属性的多个目标函数来优选 Web 服务. AMOSA<sup>[7]</sup>算法是一种解决多目标组合优化问题的高效算法,具有较强的优化能力,已被成功应用于全局多目标优化设计,如用于遥感卫星图像中自动像素分类的影像数据多目标优化等<sup>[8]</sup>.但目前,运用多目标模拟退火算法解决基于 QoS 的 Web 服务选择问题的文献很少.而本文将基于 QoS 的 Web 服务选择问题建模为多目标组合优化问题,通过设定多个 QoS 属性目标函数,运用 AMOSA,设计了一种 QoS 全局最优的 Web 服务选择算法 WS-AMOSA,同时优化多个目标函数以优选 Web 服务,从而产生 QoS 全局最优的 Pareto 优化解集. WS-AMOSA 算法描述如下:

**步骤 1:** 对组合服务 CS 中的每个抽象 Web 服务 AWS 所对应的各候选 Web 服务集 CWS 的各维 QoS 属性(如服务时间、服务费用、可靠性、可用性和声誉)的值  $q(WS_{i,j})$  进行初始化,其值由随机数产生器生成,且定义服务费用  $C = \text{常数 } D / \text{服务时间 } T + \text{随机扰动 } \text{RND}$ .

**步骤 2:** 对算法中的一些参数,如初始温度 TMAX,最终温度 TMIN,冷却率  $\alpha$ ,每个温度下的迭代次数 iter,硬限制 HL,软限制 SL 等参数赋初值.

**步骤 3:** 引入辅助变量 Temp,并令  $\text{Temp} = \text{TMAX}$ .

**步骤 4:** 采用整数编码,对每个抽象 Web 服务,从其所对应的候选 Web 服务集中随机地选择一个,构造一个服务组合方案,此过程执行 SL 次,即随机产生 SL 个解(即服务组合方案),对这些解执行多次爬山操作,按照公式(2)计算每个服务组合方案的各维全局 QoS 属性的目标函数值,执行变异操作产生新解,再计算新解的各维全局 QoS 属性的目标函

数值,依据公式(1)中各服务组合方案的各维全局 QoS 属性的目标函数值以值小者为优进行支配关系的检测,若新解支配原解,则替换原解. 如果归档集中解的数量超过 HL,则执行聚类操作.

**步骤 5:**随机从归档集中选择一解作为当前解 cur,按照式(2)计算该解各维全局 QoS 属性目标函数值.

**步骤 6:**引入计数器变量 count,并令 count=0.

**步骤 7:**扰动当前解以产生新解 new,按照式(2)计算该解的各维全局 QoS 属性目标函数值,依据式(1)中各服务组合方案的各维全局 QoS 属性的目标函数值以值小者为优检查 cur 与 new 的支配关系(有三种情况:new 支配 cur, new 与 cur 彼此非支配, cur 支配 new),同时依据 new 与 cur 支配关系的不同和 new 与归档集中解的支配关系的不同以不同计算方法去计算接受概率,并以所求得概率去设置 new 为 cur. 对于 new 与 cur 彼此非支配和 new 支配 cur 这两种支配情况,依据 new 与归档集中解的支配关系决定是否添加 new 到归档集中,删除归档集中受 new 支配的解,同时判断归档集中解的个数是否超过 SL,若超过,则对归档集中解执行聚类操作以将解的个数减至 HL.

**步骤 8:**count++,若 count<iter,则转去执行步骤 7,否则执行步骤 9.

**步骤 9:**按  $Temp = Temp * \alpha$  的方式降温,若  $Temp < TMIN$ ,则转去执行步骤 6,否则执行步骤 10.

**步骤 10:**如果归档集中解的数量大小超过了 SL,则执行聚类操作以将归档集中解的个数减至 HL.

**步骤 11:**输出归档集中 Pareto 最优解,这些解代表着不同服务组合方案,可供决策者依据用户对全局 QoS 的偏好和需求挑选出最满意的解,算法结束.

4 实验与分析

为评估 WS-AMOSA 算法的性能,进行模拟仿真实验. 实验环境为 Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU Q9500 @ 2.83GHz,1.96GB RAM. 使用图 1 所示的组合 Web 服务实例为实验对象. 该组合服务实例包含循环、并行、分支和顺序 4 类控制结构,由 6 个抽象服务组成.

实施的每组实验是各抽象服务均对应有 1000 个候选 Web 服务,HL,SL, iter, TMIN 取相同值,

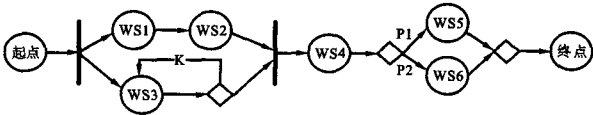


图 1 一个组合服务实例

分别如下:100, 200, 500, 0.000001,而参数 alpha 和 TMAX 取不同值. 本文同时考虑优化服务时间、服务费用、可靠性、可利用性和声誉(分别简化表示为 T、C、R、AV 和 RE 用于以下的实验分析)这 5 维 QoS 属性.

4.1 算法所费 CPU 时间开销比

表 1 为 alpha 和 TMAX 的不同取值情况下,执行该算法以获取 Pareto 优化解集所需耗费的 CPU 时间. 由表 1 可知,在 alpha 值确定的情况下,随着 TMAX 值的增大,CPU 时间开销基本呈小幅渐增,而在 TMAX 值确定的情况下,随着 alpha 值的增大,CPU 时间开销却以较大幅显著增长. 这说明,在其他各参数取值一定下,alpha 值的改变比 TMAX 值的改变对该算法所需 CPU 时间开销的影响较大. 这是因为 alpha 值的增大,其“退火”过程较缓慢,可能导致算法的外层循环迭代次数的增加,耗费更多的 CPU 时间.

表 1 CPU 时间开销(s)

| TMAX<br>alpha | 100    | 200     | 500     | 1000    | 5000    |
|---------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 0.6           | 1.7922 | 1.77673 | 1.91933 | 1.91947 | 1.87767 |
| 0.7           | 2.3641 | 2.4538  | 2.38173 | 2.708   | 2.83807 |
| 0.8           | 3.8985 | 3.94647 | 4.44427 | 4.5308  | 4.609   |
| 0.9           | 8.3328 | 8.7496  | 9.5746  | 9.112   | 10.2236 |
| 0.95          | 18.151 | 18.7693 | 19.1047 | 20.5829 | 22.06   |

4.2 算法所产生解的全局 QoS 属性目标函数值比

(1) alpha 不同取值:取 TMAX=500,alpha={0.6,0.7,0.8,0.9,0.95}时,算法 WS-AMOSA 运行 15 轮,图 2 至图 3 分别是所产生的 Pareto 优化解集中各维全局 QoS 属性的各均值. 在 alpha 值由 0.6 离散增加直至 0.95 各取值时,图 2 反映出 T 均值不断减小,而 C 均值有些许波动,但整体呈增大之势. 由于 T 和 C 在初始化时被定义为两个相互冲突的属性,各自优化时可能会互相影响. 故在“退火”过程中,可能优化了 T 却劣化了 C;而图 3 中的 R、AV 和 RE 各均值都有些许小波动,但总体呈优化之势. 随着 alpha 值的增大,其“退火”过程较缓慢,导致算法迭代次数增加,因而可期望算法接受更多

变换,访问更多领域,搜索更大范围解空间,返回更高质量最终解。

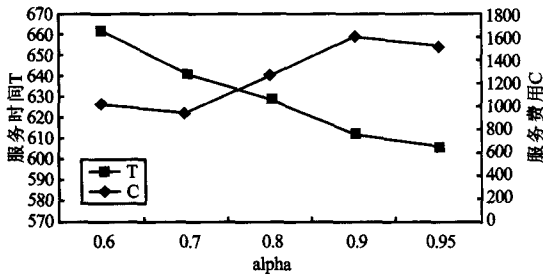


图2 Pareto 优化解集中 T 和 C 的各均值

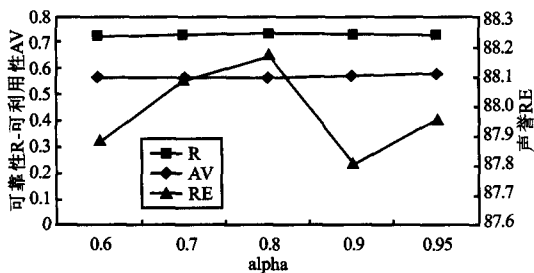


图3 Pareto 优化解集中 R、AV 和 RE 的各均值

(2) TMAX 不同取值:图 4 至图 5 是在 TMAX 分别取 100, 200, 500, 1000, 5000, 而 alpha 值为 0.6 和 0.95 时,算法 WS-AMOSA 运行 15 轮所产生的 Pareto 优化解集中各维全局 QoS 属性的各均值的一个比对。从图 4 可知,在 TMAX 各值下, alpha = 0.6 时产生的 T 均值都小于 alpha = 0.95 时产生的 T 均值,而 C 均值却相反,这主要归因于属性 T 和 C 相互冲突,优化 T 导致劣化了 C。图 5 显示出在 TMAX、alpha 不同取值下, R、AV 和 RE 的各均值均有所波动,总体来看,基本上是 alpha = 0.95 时所取得的各均值优于 alpha = 0.6 时所取得的各均值。这说明, alpha 值越大,整体上所获取的解质量越高,而 TMAX 值在“足够大”的情况下,其值的再增加,对解的质量影响并不大,且该算法所选用的随机数不同时,也会得出不同的结果,所以所获取的各均值有所波动。

## 5 结束语

基于 QoS 的 Web 服务选择问题是服务组合中的关键问题之一。本文根据 Web 服务组合问题的特点,运用 AMOSA 算法,设计了一种新的 QoS 全局最优 Web 服务选择算法。实验表明, WS-AMOSA 算法是可行的。(1)一种多目标 QoS 全局优化的 Web 服务选择算法,同时优化了多维 QoS 属性,且

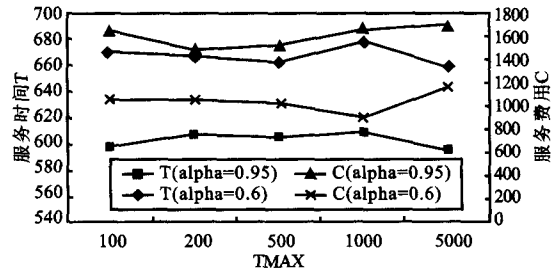


图4 Pareto 优化解集中 T 和 C 的各均值

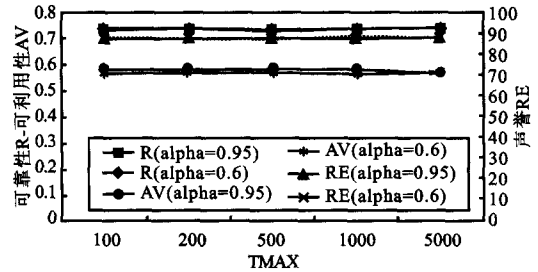


图5 Pareto 优化解集中 R、AV 和 RE 的各均值

还可扩展更多维 QoS 属性;(2)运行一次可获得一个 Pareto 最优解集,这些解具有多样性且在不同属性目标上各占优势,决策者可依用户的偏好和需求挑选出最满意的解,未被选用的解可作为备用,在服务组合发生失效时启用,具有一定的灵活性;(3)采用 AMOSA 算法多目标优选 Web 服务,提供了一种解决 Web 服务选择问题的新方法,拓宽了 AMOSA 算法的应用领域。

## 参考文献:

- [1] 王文彬,孙其博,赵新超,等. 基于非均衡变异离散粒子群算法的 QoS 全局最优 Web 服务选择方法[J]. 电子学报, 2010, 38(12): 2774-2779.
- [2] 夏亚梅,程渤,陈俊亮,等. 基于改进蚁群算法的服务组合优化[J]. 计算机学报, 2012, 35(2): 270-281.
- [3] 王显志,徐晓飞,王忠杰. 面向组合服务收益优化的动态服务选择方法[J]. 计算机学报, 2010, 33(11): 2104-2115.
- [4] 李金忠,夏洁武,曾劲涛,等. 基于 QoS 的 Web 服务选择算法综述[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(10): 3622-3627.
- [5] 方其庆,刘庆华,彭晓明,等. QoS 全局最优的多目标 Web 服务选择算法[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(12): 4442-4445.
- [6] 刘书雷,刘云翔,张帆,等. 一种服务聚合中 QoS 全局最优服务动态选择算法[J]. 软件学报, 2007, 18(3): 646-656.
- [7] S Bandyopadhyay, S Saha, U Maulik, et al. A simulated annealing based multi-objective optimization Algorithm: AMOSA[J]. IEEE Transaction on Evolu-

tionary Computation, 2008, 12(3): 269-283.

- [8] Saha S, Bandyopadhyay S. Use of different forms of symmetry and multi-objective optimization for auto-

matic pixel classification in remote sensing satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(22): 5751-5775

#### 作者简介:



**李金忠** 男, (1976—), 硕士, 副教授, CCF 会员. 研究方向为服务计算、智能算法、网格计算.

**夏洁武** 女, (1969—), 硕士, 教授, CCF 会员. 研究方向为服务计算、智能算法.

**刘昌鑫** 男, (1963—), 男, 硕士, 教授. 研究方向为计算机网络、信息隐藏.

**曾劲涛** 男, (1978—), 硕士, 副教授, CCF 会员. 研究方向为服务计算、智能算法、网格计算.

#### (上接第 96 页)

Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58 (1): 301-313.

- [5] 宋亚楠, 仲茜, 胡成臣. 基于效用函数簇的效用类服务分层调度模型[J]. 电子学报, 2012, 40 (2): 156-162.

- [6] 任彦, 苏伟, 张思东. 列车移动网络关键技术的研究[J]. 铁道学报, 2006, 28 (1): 121-124.

- [7] 杜方, 汪芸. 移动网络环境中混合式任务调度策略的研究与实现 [J]. 微电子学与计算机, 2011, 28 (8): 162-165

#### 作者简介:



**张永晖** 男, (1973—), 博士. 研究方向为移动互联网接入、容迟网络.

**林漳希** 男, (1953—), 博士. 博士生导师. 研究方向为 QoS 路由和网络安全.

**刘建华** 男, (1967—), 博士. 副教授, 研究方向为移动网络、机会网络.

**梁泉** 男, (1972—), 博士. 副教授, 研究方向为移动网络、机会网络.