

控制与决策

Control and Decision

融合可信性评价的Web服务组合QoS优化

韩敏, 段彦忠

引用本文:

韩敏, 段彦忠. 融合可信性评价的Web服务组合QoS优化[J]. 控制与决策, 2020, 35(8): 1859–1865.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0006>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

中断情境下可靠性应急设施选址-分配多目标优化模型

A multi-objective optimization model for reliable emergency facility location-allocation under disruptions

控制与决策. 2020, 35(6): 1415–1420 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1028>

基于误码率与中断概率约束的femtocell网络分布式功率控制

Distributed power control based on bit error rate and outage probability constraint in two-tier femtocell networks

控制与决策. 2020, 35(4): 916–922 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1262>

基于情景感知的制造组合服务自适应决策机制

Situation aware-adaptive decision-making mechanism of manufacturing composition service

控制与决策. 2019, 34(6): 1277–1285 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.1625>

求解区间柔性作业车间调度的多目标进化算法

Multi-objective evolutionary algorithm to solve interval flexible job shop scheduling problem

控制与决策. 2019, 34(5): 908–916 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.1492>

基于可信度阈值优化的案例推理评价分类方法

Trustworthiness evaluation method with threshold optimization for case-based reasoning classification

控制与决策. 2016, 31(7): 1253–1257 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.0270>

融合可信性评价的 Web 服务组合 QoS 优化

韩敏[†], 段彦忠

(大连理工大学 电子信息与电气工程学部, 辽宁 大连 116023)

摘要: 针对复杂网络环境下存在的恶意欺诈行为, 提出一种将服务可信性评价和基于 QoS 感知的服务组合优化相结合的方法框架. 首先, 基于 Web 服务的历史行为分别采用贝叶斯学习理论和用户评价方法, 从客、主观两方面对 Web 服务可信性进行评估; 然后, 利用可信性度量后的 QoS 属性构建多目标优化模型, 并提出一种改进的多目标灰狼优化 (IMOGWO) 算法用于模型求解; 最后, 通过实验数据验证所提出方法框架在服务组合优化时的有效性.

关键词: 可信性评价; Web 服务; 服务组合; QoS; 多目标灰狼算法; 控制参数

中图分类号: TP393

文献标志码: A

QoS optimization of Web services composition incorporating with credibility evaluation

HAN Min[†], DUAN Yan-zhong

(Faculty of Electronic Information and Electrical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

Abstract: Aiming at malicious fraud in the complicated network environment, a method framework combining service credibility evaluation and QoS-aware service composition optimization is proposed. Firstly, based on the historical behavior of Web services, Bayesian learning theory and evaluation information of historical users are used to evaluate the credibility of Web services from both objective and subjective aspects. Then, by using the service QoS attributes measured by credibility, a multi-objective optimization model is constructed, and an improved multi-objective grey wolf optimization (IMOGWO) algorithm is proposed for model solution. Finally, the effectiveness of the method framework for service composition optimization is verified by experimental data.

Keywords: credibility evaluation; Web services; services composition; QoS; multi-objective grey wolf optimizer; control parameter

0 引言

随着互联网技术的发展及软件工程方法的进步, Web 服务组合在网络技术研究领域发挥着至关重要的作用^[1]. 通过 Web 服务组合进行互联网上数据和信息的集成已成为信息共享的重要手段, 大量用户采用多样的原子服务构建复杂的软件系统^[2]. 随着服务提供者发布的 Web 服务增多, 出现了很多功能相同而服务质量 (quality of service, 简称 QoS) 各异的服务^[2-4], 因此, Web 服务的选择和服务组合 QoS 优化已成为建立互联网服务体系的研究焦点.

当为服务组合 workflow 中的每个任务选取特定服务时, 随着任务和候选服务数量增加, 穷举所有的服务组合方案是行不通的^[5]. 因此, 很多学者采用元启发式算法求解优化模型^[6-8]. 文献 [9] 先通过局部选择

缩小搜索空间, 再使用遗传算法搜索全局最优解. 文献 [10] 提出一种改进的蚁群算法以解决云制造环境下的服务组合问题. 文献 [11] 设计了一种面向服务选择的离散粒子群算法. 这种将不同的 QoS 属性通过设定权值聚合为单目标进行优化的方法没有考虑 QoS 属性间的冲突性, 且利用此结果进行 Web 服务选择时难以表达 QoS 属性的详细信息. 为此, 一些学者考虑 QoS 多属性构造多目标优化模型来判断服务组合的 QoS 是否达到用户需求. 在 Web 服务组合中已应用了一些多目标优化算法, 如 NSGA-II、SPEA2、MOPSO 等^[12], 但算法的有效性和效率还有待提高.

此外, 复杂的网络环境下存在恶意欺诈行为, 只通过比较服务提供者发布的 QoS 大小无法保证服务质量, Web 服务的可信性评价研究也十分重要^[13].

收稿日期: 2019-01-02; 修回日期: 2019-02-20.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61773087).

责任编辑: 侯忠生.

[†]通讯作者. E-mail: minhan@dlut.edu.cn.

Sang等^[14]开展了一项关于服务信任和信誉的调查研究综述,总结了可信性评价的研究动机,给出了不同服务之间可信度的计算方法. Artz等^[15]将信任进行分类处理并讨论了其在构建服务组合策略时的重要性. 杨胜文等^[16]依据概率论统计的有关理论进行服务的QoS度量并提出计算模型. 刘国奇等^[17]提出一个Web服务QoS可信性评价模型和两种Web服务QoS可信性评价方法. 这些文献表明了Web服务可信性评价在服务组合中的重要作用,但现存研究几乎都只将历史用户评价作为可信性评价的指标,具有一定的主观片面性.

从客、主观两方面度量Web服务的可信性并考虑QoS多属性,本文提出一种将服务可信性评价与基于QoS感知的服务组合优化相结合的方法框架. 首先,基于Web服务的历史行为分别采用贝叶斯学习理论和用户评价方法从客、主观两方面评估服务可信性,规避仅通过用户评价方法带来的主观片面性;然后,利用可信性度量后的QoS属性构建多目标优化模型,并提出一种改进的多目标灰狼优化算法(IMOGWO)用于模型求解,以解决多目标优化算法中效率和有效性有待提高的问题. 仿真结果表明,所提出的方法框架具有一定的优势.

1 融合可信性评价的服务QoS度量模型

1.1 客观可信性评价

Web服务QoS属性可分为效益型指标(如可用性、可靠性)和成本型指标(如响应时间、花费)^[12],前者值越大服务性能越好,后者则相反. 服务提供者发布的QoS属性值可表示为 $Q_p = \{q_{p1}, q_{p2}, \dots, q_{pn}\}$,此服务被调用执行后,获取到其实际运行后产生的QoS属性值为 $Q_d = \{q_{d1}, q_{d2}, \dots, q_{dn}\}$. Web服务发布的QoS可信性程度表示如下:

$$c_i = \frac{\delta_t q_{di} - q_{pi}}{q_{pi}}, \quad (1)$$

$$c_i = \frac{q_{pi} - \delta_t q_{di}}{q_{pi}}. \quad (2)$$

效益型指标和成本型指标分别采用式(1)和(2)进行计算. 其中: $c_i \in [-1, 1]$, $c_i > 0$ 表示可信, $c_i = 0$ 表示一般可信, $c_i < 0$ 表示不可信; $\delta_t \in (0, 1]$ 为时间修正因子, Web服务历史调用执行时间距离当前时间越近,参数 δ_t 值越大.

服务被调用执行后, QoS中每个属性都可以得到一个可信性评价等级. 可以看出,在连续 N 次服务调用中, c_i 服从多项分布. $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}\}$ 表示第 i 个属性的可信性信息集, k 表示可信性等级, x_{ik} 表示第 i 个属性的可信性评价等级出现在第 k 个等级

中的次数. 不妨假设 X 由带参数 θ 的多项分布产生,即

$$p(X_i|\theta) = \frac{\left(\sum_{k=1}^{K+1} x_{ik}\right)!}{K+1} \prod_{k=1}^{K+1} \theta_k^{x_{ik}}. \quad (3)$$

根据贝叶斯学习理论, Dirichlet分布可作为多项分布的共轭先验分布,带参数 $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{k+1})$ 的Dirichlet先验分布如下:

$$p(X_i|\theta) = \frac{\Gamma\left(\sum_{k=1}^{K+1} \alpha_k\right) \Gamma\left(\sum_{k=1}^{K+1} x_{ik} + 1\right)}{\Gamma\left(\sum_{k=1}^{K+1} x_{ik} + \sum_{k=1}^{K+1} \alpha_k\right)} \prod_{k=1}^{K+1} \frac{\Gamma(x_{ik} + \alpha_k)}{\Gamma(\alpha_k) \Gamma(x_{ik} + 1)}. \quad (4)$$

根据已获取的Web服务实际运行的QoS属性值,计算出随机变量 θ 的后验评估值为

$$\hat{\theta}_k = \frac{x_{ik} + \alpha_k}{\sum_{k=1}^{K+1} x_{ik} + \sum_{k=1}^{K+1} \alpha_k}, \quad (5)$$

其中 $\hat{\theta}_k$ 为QoS属性在第 k 个可信性等级中的概率.

服务提供者在互联网发布QoS属性值 q_{pi} 的可信性评价表示为可信性等级 k 为1(可信)和2(一般可信)时的概率和,即

$$o_i = \sum_{k=1}^2 \hat{\theta}_k. \quad (6)$$

1.2 主观可信性评价

用户评价信息通常包括数值、区间和模糊形式,进行可信性评估前先要对用户评价进行统一化处理.

对于区间形式的评价信息,可采用取区间平均值的方式转换为数值形式,即

$$e_i(u) = \frac{u_{\max} + u_{\min}}{2}. \quad (7)$$

其中: $e_i(u)$ 为用户 i 对某一Web服务属性评价的数值, u_{\max} 和 u_{\min} 分别为用户评价 u 的上下限.

对于模糊形式的评价信息,可采用模糊集理论将模糊型用户评价转化为数值型. 一个服务的用户评价可以用区间 $[0, 1]$ 中的一个数值表示, 1代表可信性最高, 0代表可信性最低. 用户评价 j 的模糊集表示为

$$U_j = \{e_m, L(e_m) | e_m \in U\}. \quad (8)$$

其中: e_m 为用户 m 的第 j 项用户评价; $L(e_m)$ 为 e_m 的隶属度函数,形式如下:

$$L(e_m) =$$

$$\begin{cases} 0, & 0 \leq e_m \leq \alpha; \\ \left[1 + \left(\frac{e_m - \alpha}{\beta}\right)\right]^{-1}, & \alpha < e_m \leq 100. \end{cases} \quad (9)$$

将用户评价进行归一化处理, Web服务QoS每个属性第 m 个用户评价所得的可信性评价值为 $H = \{h_{m1}, h_{m2}, \dots, h_{mn}\}$, 则QoS属性的主观可信性评价价值计算如下:

$$s_i = \frac{\sum_{m=1}^M h_{im}}{M}. \quad (10)$$

其中: h_{im} 为第 m 个用户评价对Web服务的第 i 个QoS属性的可信性评价价值, M 为参与用户评价的用户个数.

1.3 Web服务QoS度量

基于Web服务的历史行为, 本文通过客、主观两方面评估服务提供者发布QoS的可信性, 可用参数 λ 平衡两方面评价贡献的比例, $\lambda \in [0, 1]$, λ 值越小, 表明历史用户的主观评价贡献越大, 反之亦然. 为便于计算, 本文取经验值 $\lambda = 0.5$. 对于服务提供者发布的QoS属性, 将对其进行可信性评价后的可信性信息作为Web服务QoS的衡量指标, 有

$$ms_i = \lambda o_i + (1 - \lambda) s_i, \quad (11)$$

$$cq_i = q_{pi} ms_i. \quad (12)$$

其中: ms_i 为Web服务 s 的第 i 个QoS属性的可信性评价价值, o_i 为第 i 个QoS属性的客观可信性评价价值, s_i 为第 i 个QoS属性的主观可信性评价价值, cq_i 为Web服务QoS中第 i 个可信属性值, q_{pi} 为服务提供者发布的QoS中第 i 个属性值.

2 基于QoS感知的Web服务组合

2.1 QoS多目标优化模型

服务组合包含多个由 workflow 模型联系起来的子任务, 通过子任务的连接和交叉应用^[12], 可以构建各种功能复杂的软件系统. workflow 模型中最常见的是顺序、选择、并行、循环结构. 服务组合的QoS属性由各个服务在不同 workflow 模型结构下聚合而成.

服务组合过程中, 用户提交的服务请求通常包括多个QoS约束, 应用最多的QoS属性包括花费(Ps)、响应时间(Ti)、可用性(Av)和可靠性(Re)^[12]. 由于QoS各属性量纲不一致, 无法通过各维属性值直接衡量是否满足用户需求, 本文对QoS各维属性做标准化处理, 采用极值归一化方法将不同范围的QoS属性转换到 $[0, 1]$ 之间, 计算公式如下:

$$zq_i = \frac{cq_i - cq_{i \min}}{cq_{i \max} - cq_{i \min}}. \quad (13)$$

其中: zq_i 为QoS规范化后的第 i 个属性值, cq_i 为Web服务QoS中第 i 个可信属性值, $cq_{i \max}$ 和 $cq_{i \min}$ 分别为子任务候选服务的QoS中第 i 个可信属性值的最大值和最小值.

Web服务组合QoS优化是一个典型的多目标优化问题, 这些目标通常无法同时达到最优. 本文采用上文所述的服务组合领域应用最多的4个属性构建多目标优化模型. 由于花费少和响应时间短为一对冲突目标, 考虑多目标间的冲突性, 分别以服务组合的花费少和响应时间短为目标 f_1 、 f_2 , 以服务组合的可用性和可靠性为约束构建多目标优化模型

$$\begin{cases} \min F(x) = \{f_1(x), f_2(x)\}. \\ \text{s.t. Re}(x) \geq \text{Re}_0, \\ \text{Av}(x) \geq \text{Av}_0, \\ l_i \leq x_i \leq u_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \quad (14)$$

求解上述QoS多目标优化模型可以得到一组Pareto最优解, 结果可为用户提供多种选择方案.

2.2 改进的多目标灰狼算法

灰狼算法(GWO)是通过模拟狼群的追踪、捕食行为而提出的^[18]. 灰狼群体按等级地位从高到低的狼依次被称为: 首领狼 α 、次首领狼 β 、普通狼 δ 和底层狼 ω . 灰狼逐步接近并包围猎物过程的数学表示如下所示:

$$\begin{cases} D = |CX_p(t) - X(t)|, \\ X(t+1) = X_p(t) - AD. \end{cases} \quad (15)$$

其中: t 为当前迭代次数, A 和 C 为系数向量, X_p 为猎物位置, X 为灰狼个体位置. A 和 C 具体表示如下:

$$A = 2ar_1 - a, \quad (16)$$

$$C = 2r_2. \quad (17)$$

其中:控制参数 a 随着迭代次数从2逐渐线性递减到0, r_1 和 r_2 为 $[0, 1]$ 区间的随机向量.

群体中的各个狼根据首领狼 α 、次首领狼 β 、普通狼 δ 的位置进行更新, 有

$$\begin{cases} D_\alpha = |C_1 X_\alpha - X|, \\ D_\beta = |C_2 X_\beta - X|, \\ D_\delta = |C_3 X_\delta - X|. \end{cases} \quad (18)$$

$$\begin{cases} X_1 = X_\alpha - A_1(D_\alpha), \\ X_2 = X_\beta - A_2(D_\beta), \\ X_3 = X_\delta - A_3(D_\delta), \\ X(t+1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3}. \end{cases} \quad (19)$$

多目标灰狼算法(MOGWO)在GWO的基础上,借鉴了MOPSO的思想,使用外部文档保存非支配解,并改进了头狼选取策略.由于篇幅限制,MOGWO的具体步骤见文献[18].

MOGWO在进行初始化种群时采用随机法生成,难以保证初始种群的多样性,影响算法的全局收敛速度和解的质量.佳点集是一种能够均匀选点的方法,目前已在GA、PSO、ABC等算法中成功应用.本文将佳点集引入MOGWO,利用该方法生成初始种群,保证初始种群更均匀地分布在探索空间中.利用佳点集进行种群初始化的具体步骤详见文献[19].

利用群体智能优化算法进行模型求解时,如何协调算法的探索和开发能力至关重要.探索表示群体需要广泛搜索区域,避免算法陷入局部最优.开发则强调充分利用已有信息对某些区域进行细致搜索,对算法的收敛速度有决定性作用.文献[19]论证了控制参数 a 在GWO中的作用,而MOGWO中该阶段的具体流程与GWO是相通的.MOGWO中控制参数 a 随迭代次数线性由2递减到0,这种控制策略不足以表示实际的复杂优化搜索过程^[20].受PSO惯性权重设置的启发,本文提出一种基于正弦函数的非线性控制策略,使控制参数 a 在寻优初期值较大,算法的探索能力较强.寻优过程中,控制参数 a 在前期以较快的速度减小,而在中期以较慢的速度减小,以平衡算法的探索和开发能力,计算公式如下:

$$a = a_{\text{intit}} - (a_{\text{intit}} - a_{\text{fin}}) \sin\left(\gamma \frac{t}{t_{\text{max}}}\pi\right). \quad (20)$$

其中: a_{intit} 和 a_{fin} 分别代表控制参数 a 的初始值和最终值, γ 为非线性调节因子, t 为当前的迭代次数, t_{max} 为最大迭代次数.

综上,改进初始化策略和控制参数的多目标灰狼优化算法(IMOGWO)具体实现步骤如下.

算法1 IMOGWO算法.

step 1: 设置算法参数:种群规模 N ,最大迭代次数 t_{max} ,控制参数 a 的初始值 a_{intit} 和最终值 a_{fin} ,非线性调节因子 γ ;

step 2: 利用佳点集理论初始化灰狼种群;

step 3: 计算每个个体的适应度值,找到非支配解,根据文档管理策略将新个体加入外部文档;

step 4: 从外部文档中根据轮赌盘方法选出3个个体,分别作为引导狼 α 、 β 和 δ ,其对应的位置分别为 X_{α} 、 X_{β} 、 X_{δ} ;

step 5: 根据式(18)和(19)更新灰狼种群位置;

step 6: 根据式(20)更新控制参数 a ,根据式(16)和(17)更新参数 A 和 C ;

step 7: 重复step 3,直到达到最大迭代次数或满足给定的精度.

将IMOGWO用于2.1节所描述的多目标优化模型,算法中的灰狼种群个体对应模型中Web服务的组合方案,各个体的适应度值对应服务组合方案中的QoS优化目标.多目标优化模型中QoS的约束条件表示为对于不满足约束条件的解给予较大的惩罚值,使个体的适应度值降低,降低其被选择的可能性.

3 仿真实验

为验证本文所提出的将服务可信性评价和基于QoS感知的服务组合优化相结合方法框架的有效性,进行一系列实验.首先,对提出的融合可信性评价的Web服务QoS度量模型进行有效性验证;然后,针对服务组合QoS多目标优化模型,采用所提出的IMOGWO与其他几种经典算法进行对比.实验程序使用Matlab R2017a编写,运行环境为Windows 7, Intel i5-7 500 3.40 GHz CPU, 4G内存.

3.1 实验配置

3.1.1 数据集

本文实验采用通用综合服务数据集QWS,该数据集共包含2 507个现实Web服务的9个QoS属性记录,关于QWS数据集的详细介绍见文献[21].此外,为了验证可信性评价的有效性和保证实验结果的客观性,随机生成一组仿真数据集(Synthetic数据集),具体生成方法见文献[13].Synthetic数据集包含3 000个Web服务记录,每个服务包含4个QoS属性和历史用户评价,各QoS属性和历史用户评价取值范围如表1所示.

表1 Synthetic数据集QoS属性

QoS属性	取值范围
花费/\$	(0, 2 000)
响应时间/ms	(0, 400)
可用性/%	(0, 100)
可靠性/%	(0, 100)
历史用户评价/%	(0, 100)

3.1.2 评价指标

为了评价服务组合方法的效率和优化效果,引入两个评价指标:响应时间和average normalized error (ANE)^[13].响应时间表示算法构成服务组合的效率情况,ANE指标可衡量各服务组合对优化目标的满足情况,表现为优化效果.这里的响应时间指算法达成Pareto最优解的时间,ANE指标的计算方法见文献[13].

3.2 可信性评价验证

实验采用 Synthetic 数据集模拟服务 QoS 各属性在实际调用交互中的数值,共包含 5 组服务历史运行 QoS 数据和用户评价,各组数据均服从正态分布,且方差相同.第 3 组数据均值为服务发布者提供的 QoS 属性数据,第 1、第 2 组数据均值小于服务发布者提供的 QoS 属性值且第 1 组较小,第 4、第 5 组数据则相反且第 5 组较大.同时,为验证所提出方法在规避历史用户恶意评价的有效性,在每组历史用户评价中加入 5% 的恶意评价,具体操作方法见文献 [22].可信性评价仿真实验结果如图 1 所示.

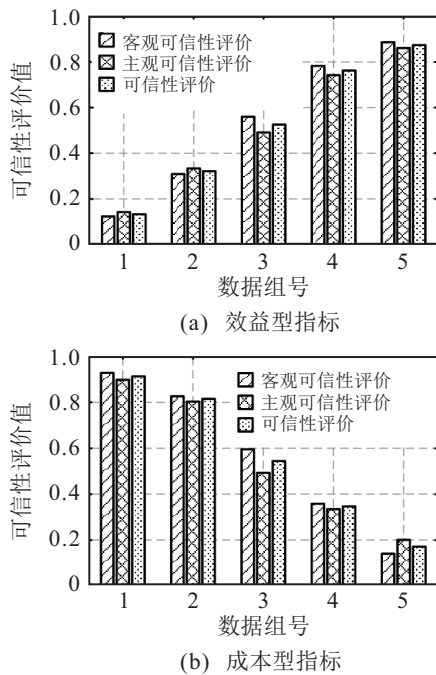


图 1 可信性评价结果

图 1(a) 显示了效益型指标可信性评估结果,第 1、第 2 组得到的可信性评价价值较低,第 4、第 5 组得到的可信性评价价值较高,第 3 组的可信性评价价值接近 0.5. 分析原因可知,第 1、第 2 组数据分布在服务发布者提供的 QoS 属性数据的左侧,其值大多小于服务发布者提供的 QoS 属性数据,代表服务在实际调用执行后产生的 QoS 属性较差,历史用户评价也较差,通过可信性评价后得到的值较小,而第 4、第 5 组数据则

与此相反.第 3 组数据分布在服务发布者提供的 QoS 属性数据的两侧,其数据中大于和小于服务发布者提供的 QoS 属性数据的各占 50%,历史用户评价也接近 50%,通过计算后其可信性评价价值接近 0.5. 同理,对于图 1(b) 的各组数据的成本型指标可信性评估结果,第 1、第 2 组数据多小于服务发布者提供的 QoS 属性数据,代表服务在实际调用执行后产生的 QoS 属性较好,历史用户评价也较好,通过可信性评价后得到的值较大,第 4、第 5 组数据则与此相反.

对比图 1(a) 和图 1(b) 中的客观可信性评价、主观可信性评价和可信性评价结果可以看出,可信性评价处于客、主观可信性评价之间,其综合了客、主观两方面的评价信息,降低了历史用户恶意评价对可信性评价的影响.与只通过主观方法进行可信性评价相比,该方法兼顾了客、主观可信性评价,通过客观可信性评价的客观性可以降低单一主观评价方法带来的片面性,提高服务可信性评价的准确性.

3.3 服务组合 QoS 优化过程对比

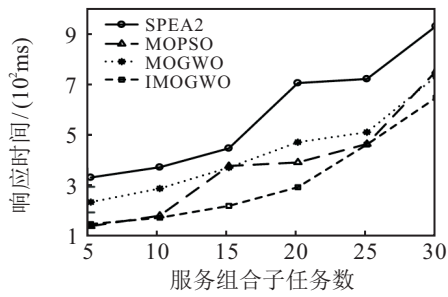
为验证 IMOGWO 在求解服务组合 QoS 多目标决策模型中的有效性,将 IMOGWO 与 MOGWO 及服务组合优化领域内的流行算法 SPEA2 和 MOPSO 进行对比,实验参数设置情况如下: SPEA2 算法中,交叉概率 $p_c = 0.7$,突变概率 $p_m = 0.4$; MOPSO 算法中,惯性权值 $\omega = 0.7$,学习因子 c_1 和 c_2 均为 1.5; IMOGWO 算法中,控制参数 a 初始值 a_{inint} 和最终值 a_{fin} 分别为 2 和 0,非线性调节因子 $\gamma = 0.5$;所有算法每次迭代的种群大小均为 100. 实验结果如表 2、表 3 和图 2、图 3 所示.

表 2 运行效率对比

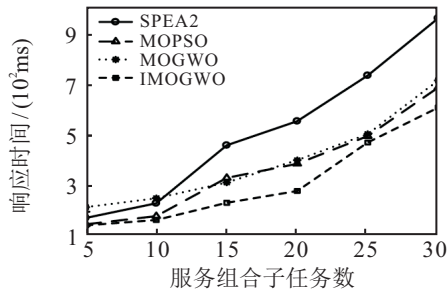
	QWS						Synthetic					
	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
SPEA2	336	376	450	705	721	927	176	233	459	553	731	954
MOPSO	146	187	381	395	467	751	151	183	332	387	495	684
MOGWO	240	293	375	474	513	731	218	253	314	401	503	712
IMOGWO	154	179	225	298	465	647	147	168	235	281	470	606

表 3 优化效果对比

	QWS						Synthetic					
	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
SPEA2	83.64	80.63	80.12	83.99	83.50	82.71	88.64	83.63	80.68	83.57	83.86	84.37
MOPSO	84.68	82.31	83.10	84.95	84.61	83.87	85.68	84.31	83.98	86.95	87.61	85.64
MOGWO	86.98	81.36	85.39	85.03	84.71	85.06	88.98	86.36	85.66	85.43	84.98	86.03
IMOGWO	88.68	84.54	86.47	86.78	85.99	86.06	90.31	88.54	86.63	87.78	89.65	88.06

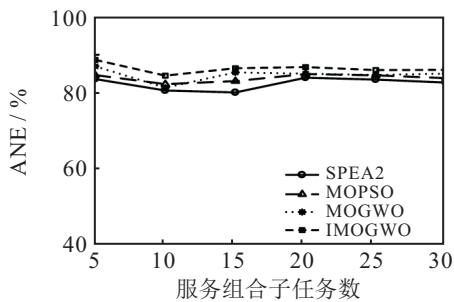


(a) QWS数据集

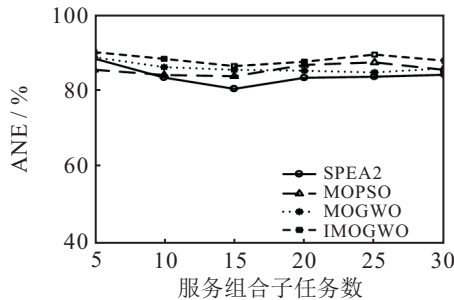


(b) Synthetic数据集

图2 响应时间对比



(a) QWS数据集



(b) Synthetic数据集

图3 ANE对比

由表2和图2可见, IMOGWO较MOGWO的响应时间短, 具有较好的改进效果, 同时, 其与SPEA2和MOPSO在响应时间上相比, 也优于其他两种算法. 在服务组合子任务数较少时, 各算法的响应时间较快且相差不大. 随着服务组合子任务数增加, 各算法的响应时间都会增大. 其中, MOPSO、MOGWO和IMOPSO在随着服务组合子任务数的规模增加时, 响应时间增长较慢, 而SPEA2的响应时间增长速度较快. 各算法在构建不超过30个子任务的服务组合时响应时间均小于1000 ms, 能够在复杂网络环境下实

时构建满足用户要求的服务组合策略.

表3和图3呈现了各算法在优化效果上的对比情况, 从对比结果中可以看到, 本文所提出IMOGWO与其他方法相比取得了最优的服务组合效果. 随着服务组合子任务数的变化, 各算法构建服务组合的优化结果相对比较稳定, ANE指标均在80%以上, 表明各算法在构建服务组合时均可取得不错的优化效果. 分析上述原因可知, 各算法在服务组合子任务数增加时会伴随着响应时间的增大, 通过延长服务的搜索时间保证了服务组合的优化效果, 这是合理的. 综上所述, 本文所提出的IMOGWO在响应时间和优化效果上均取得了最优效果.

为进一步表明本文所提出方法的有效性, 采用“T检验”对表2和表3中的数据进行显著性差异检测, $p \leq 0.05$ 代表IMOGWO与其他算法相比具有显著性差异, $p > 0.05$ 代表差异不显著. 表4中“T检验”结果表明, 本文所提出的IMOGWO算法在所有指标上均显著优于其他算法.

表4 T检验P-value结果

数据集	指标	SPEA2	MOPSO	MOGWO
QWS	响应时间	0.000	0.042	0.001
	ANE	0.001	0.001	0.002
Synthetic	响应时间	0.006	0.016	0.001
	ANE	0.001	0.002	0.004

4 结论

本文针对复杂网络环境下存在的恶意欺诈行为, 提出了将服务可信性评价和基于QoS感知的服务组合优化相结合的方法框架. 服务组合QoS优化前, 先通过融合可信性评价的服务QoS度量模型进行评估, 保证其可信性; 然后, 利用可信性度量后的QoS构建多目标优化模型并提出了一种改进的多目标灰狼优化算法用于模型求解. 通过对可信性评价说明和组合优化过程对比, 验证了所提出方法框架的有效性. 下一步将在此基础上, 考虑Web服务接口的差异对服务组合的影响, 探索更加完善的模型和更有效的算法.

参考文献(References)

[1] 丁志军, 周泽霞. Web服务组合测试综述[J]. 软件学报, 2018(2): 299-319.
(Ding Z J, Zhou Z X. Review of web service composition testing[J]. Journal of Software, 2018(2): 299-319.)

[2] Wu Y, Yan C, Ding Z, et al. A multilevel index model to expedite web service discovery and composition in large-scale service repositories[J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2016, 9(3): 330-342.

- [3] Rodriguez-Mier P, Pedrinaci C, Lama M, et al. An integrated semantic web service discovery and composition framework[J]. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2016, 9(4): 537-550.
- [4] Zeng L, Benatallah B, Ngu A H H, et al. QoS-aware middleware for web services composition[J]. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 2004, 30(5): 311-327.
- [5] 高海昌, 冯博琴, 朱利. 智能优化算法求解TSP问题[J]. *控制与决策*, 2006, 21(3): 241-247.
(Gao H C, Feng B Q, Zhu L. Intelligent optimization algorithm for solving TSP problem[J]. *Control and Decision*, 2006, 21(3): 241-247.)
- [6] 常洪浩, 冯祖仁, 张兆军, 等. 一种智能优化算法解质量评价方法[J]. *控制与决策*, 2013, 28(11): 1735-1740.
(Chang H H, Feng Z R, Zhang Z J, et al. An intelligent optimization algorithm for solving quality evaluation methods[J]. *Control and Decision*, 2013, 28(11): 1735-1740.)
- [7] 何庆, 吴意乐, 徐同伟. 改进遗传模拟退火算法在TSP优化中的应用[J]. *控制与决策*, 2018, 33(2): 219-225.
(He Q, Wu Y L, Xu T W. Application of improved genetic simulated annealing algorithm in TSP optimization[J]. *Control and Decision*, 2018, 33(2): 219-225.)
- [8] 韩敏, 张丽君. 基于多样性检测的双子群多目标粒子群算法[J]. *控制与决策*, 2017, 32(12): 2268-2272.
(Han M, Zhang L J. Bi-group multi-objective particle swarm optimization algorithm based on diversity metric[J]. *Control and Decision*, 2017, 32(12): 2268-2272.)
- [9] Ye H Z, Guan Y H. QoS-aware web service composition based on local selection and genetic algorithm[J]. *Journal of Chinese Computer Systems*, 2016, 37(7): 1389-1392.
- [10] 马文龙, 王铮, 赵燕伟. 基于改进蚁群算法的制造云服务组合优化[J]. *计算机集成制造系统*, 2016, 22(1): 113-121.
(Ma W L, Wang Z, Zhao Y W. Manufacturing cloud service combination optimization based on improved ant colony algorithm[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2016, 22(1): 113-121.)
- [11] 范小芹, 蒋昌俊, 方贤文, 等. 基于离散微粒群算法的动态Web服务选择[J]. *计算机研究与发展*, 2010, 47(1): 147-156.
(Fan X Q, Jiang C J, Fang X W, et al. Dynamic web service selection based on discrete particle swarm optimization[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2010, 47(1): 147-156.)
- [12] Jatoth C, Gangadharan G R, Buyya R. Computational intelligence based QoS-aware web service composition: A systematic literature review[J]. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2017, 10(3): 475-492.
- [13] Wang H, Zou B, Guo G, et al. Integrating trust with user preference for effective web service composition[J]. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2017, 10(4): 574-588.
- [14] Sang A, Ismail R, Boyd C. A survey of trust and reputation systems for online service provision[J]. *Decision Support Systems*, 2007, 43(2): 618-644.
- [15] Artz D, Gil Y. A survey of trust in computer science and the semantic web[J]. *Web Semantics Science Services and Agents on the World Wide Web*, 2007, 5(2): 58-71.
- [16] 杨胜文, 史美林. 一种支持QoS约束的Web服务发现模型[J]. *计算机学报*, 2005, 28(4): 589-594.
(Yang S W, Shi M L. A web service discovery model supporting QoS constraints[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2005, 28(4): 589-594.)
- [17] 刘国奇, 朱志良, 王浩, 等. 一种Web服务QoS可信性评价模型[J]. *小型微型计算机系统*, 2009, 30(11): 2216-2221.
(Liu G Q, Zhu Z L, Wang H, et al. Model for evaluating QoS trustworthiness of web service[J]. *Journal of Chinese Computer Systems*, 2009, 30(11): 2216-2221.)
- [18] Mirjalili S, Saremi S, Mirjalili S M, et al. Multi-objective grey wolf optimizer: A novel algorithm for multi-criterion optimization[J]. *Expert Systems with Applications*, 2016, 47: 106-119.
- [19] 龙文, 伍铁斌. 协调探索和开发能力的改进灰狼优化算法[J]. *控制与决策*, 2017, 32(10): 1749-1757.
(Long W, Wu T B. Improved grey wolf optimization algorithm for coordinating exploration and development capabilities[J]. *Control and Decision*, 2017, 32(10): 1749-1757.)
- [20] Mittal N, Singh U, Sohi B S. Modified grey wolf optimizer for global engineering optimization[J]. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2016, 7950348: 1-16.
- [21] Al-Masri E, Mahmoud Q H. Discovering the best web service: A neural network-based solution[C]. *IEEE International Conference on System, Man, and Cybernetics*. San Antonio: IEEE, 2009: 4250-4255.
- [22] 李研, 周明辉, 李瑞超, 等. 一种考虑QoS数据可信性的服务选择方法[J]. *计算机学报*, 2008, 19(10): 2620-2627.
(Li Y, Zhou M H, Li R C, et al. Service selection approach considering the trustworthiness of QoS data[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2008, 19(10): 2620-2627.)

作者简介

韩敏(1959—),女,教授,博士生导师,从事复杂工业系统建模与控制、智能技术及优化算法等研究, E-mail: minhan@dlut.edu.cn;

段彦忠(1991—),男,硕士生,从事服务组合、智能优化算法的研究, E-mail: yanzhongduan@mail.dlut.edu.cn.

(责任编辑: 郑晓蕾)