

服务组合中信任感知的成员服务选择算法^①

王 勇^{②*} 代桂平^{**} 姜正涛^{***} 侯亚荣^{*}

(* 北京工业大学计算机学院 北京 100124)

(** 北京工业大学电控学院 北京 100124)

(*** 中国传媒大学计算机学院 北京 100024)

摘 要 考虑到把信任度作为组合服务实现成员服务选择的依据可使组合服务的执行、调度更好地围绕服务的信任度展开和有利于信任度高的成员服务加入到服务组合的过程中来,进而提高组合服务的可信性,把信任引入到服务组合中,研究了服务组合中信任感知的成员服务选择问题,建立了选择问题的数学模型,并将选择问题归结为一个最小代价集合覆盖问题,同时建立了选择问题的有向图表示方法,并设计了基于蚁群系统的选择算法。实验结果分析表明,设计的信任感知的成员服务选择算法具有较好的寻优性能。

关键词 Web 服务, 信任, 服务组合, 蚁群系统, 信任度

0 引 言

服务(Web 服务或者网格服务)组合是指如何把服务组合成为一个更大粒度的服务,以供进一步组合或者直接供上层应用和用户应用^[1,2]。在 Web 或者网格中存在大量的服务,它们共同实现组合服务的功能。一个成员服务可能是组合服务中的一个或者若干个活动的实现体。在组合服务执行时,需要从成员服务集合中选择合适的成员服务,在选择成员服务时,需要一种实现成员服务选择的依据,这种依据只能来自于成员服务的服务质量、信任度等非功能特性。信任关系可能是一对一的关系,也可能是一对多、多对一或者多对多的关系。一对一的关系比较容易理解,体现为两个实体之间的信任关系。而一对多、多对一和多对多的信任关系体现为实体与一组成员实体(群体)或者两个群体之间的信任关系。组合服务所代表的是一个由其成员服务作为个体组成的群体,组合服务与原子服务以及上层应用和用户之间的交互是一对多关系或者多对一关系,而组合服务之间的对等交互则是一种多对多的关系,即网格服务组合中存在的典型的群体信任关系。通过把信任度作为组合服务实现成员服务选择的依据,可以使得组合服务的执行和调度更好地围绕服务

的信任度展开,有利于信任度高的成员服务加入到服务组合的过程中来,进而提高组合服务的可信性。

服务质量感知的服务组合调度问题和服务选择问题是近几年研究的热点问题,许多研究工作涉及到该问题的研究^[3-9]。文献[3,4]考虑了包含顺序、并发、选择、循环等四种控制结构的服务组合模型,建立了费用、响应时间、信誉、可用性等服务质量参数的参数体系用以评价组合服务的服务质量,并借助非线性规划方法从全局角度进行服务选择。文献[5]给出了包含费用、响应时间、可靠性、可提供性以及信誉等参数的服务质量参数体系,建立了服务质量感知的网格服务组合调度问题的数学模型,并给出了基于遗传算法的调度算法。文献[6-9]采用了与文献[3-5]类似的研究思路,采用不同的数学方法解决服务质量感知的服务组合调度问题和服务选择问题。在这些服务组合调度或者服务选择问题的研究中,都隐含了一个这样的假设:组合服务中的一个活动由一个成员服务实现,并单独计算服务质量代价(假设 1)。而实际上,一个成员服务可以为组合服务中的一个或者若干个活动提供实现,在计算服务质量代价时一次性完成(假设 2),这样的假设比较符合客观。实际上假设 1 只是假设 2 的一种特殊情况。

本文把信任度引入到服务组合中,研究了服务

① 973 计划(2007CB311100),北京工业大学博士科研启动基金(52007013200704)和北京工业大学青年基金(97002011200702/X1007011200801)资助项目。

② 男,1974 年生,博士,讲师;研究方向:面向服务的体系结构(SOA),可信计算,网格计算;联系人,E-mail: wangy@bjut.edu.cn (收稿日期:2009-04-03)

组合中信任感知的成员服务选择问题。本文的主要创新点是:首次将信任概念和信任度引入到服务组合中,并深入地研究了信任感知的成员服务选择问题,建立了其数学模型,并设计了选择算法;基于假设2研究服务组合中信任感知的成员服务选择问题,并将其归结为一个最小代价集合覆盖问题;采用蚁群系统作为设计成员服务选择算法的数学工具,较好地解决了成员服务选择问题,实验结果表明,选择算法具有较好的寻优性能。

1 服务组合中信任感知的成员服务选择

1.1 成员服务选择问题的数学模型

在 Web 服务和网格计算的应用场景中,组合服务的执行代价主要取决于其成员服务的执行代价,故组合服务的信任度决定于其所包含多个成员服务的信任度这个假设是合理的。

服务组合模型采用基于 Web 服务业务过程执行语言(Web services business process execution lan-

guage, WS-BPEL)^[2]扩展的网格工作流语言 GPEL^[10,11],信任度的定义和度量采用基于 Bayes 理论的信任模型^[12],信任度的估算算法采用基于结构分析的组合服务信任度估算算法^[13]。

通过组合服务信任度估算算法可以得出组合服务的信任度与组合服务中活动的信任度之间的函数关系 $f(t_1, \dots, t_i, \dots, t_n)$, 假定组合服务中包含了 n 个活动,其中第 i 个活动的信任度值为 t_i 。针对不同的组合服务, f 的形式是不同的,但是都可以利用估算算法建立。图 1 所示为一个组合服务的例子,该组合服务包含了 20 个成员服务本体,应用求取组合服务信任度的估算算法,可以得到

$$f = t_0 \cdot ((1 - p_{12}) \cdot ((p_1 \cdot t_1 \cdot (p_2 \cdot t_2 \cdot t_3 + p_9 \cdot t_9) \cdot t_4 + p_{10} \cdot t_{10} \cdot t_{11}) \cdot t_5 \cdot t_6) + p_{12} \cdot (t_{12} \cdot t_{13} \cdot t_{15} \cdot (p_{14} \cdot t_{14} + p_{16} \cdot t_{16} \cdot t_{17} + p_{19} \cdot t_{19}) \cdot t_{18})) \cdot t_7 \cdot t_8 \quad (1)$$

其中 p_i 为活动 i 的转移概率,可以通过组合服务执行历史信息统计获得; t_i 为活动 i 的信任度。

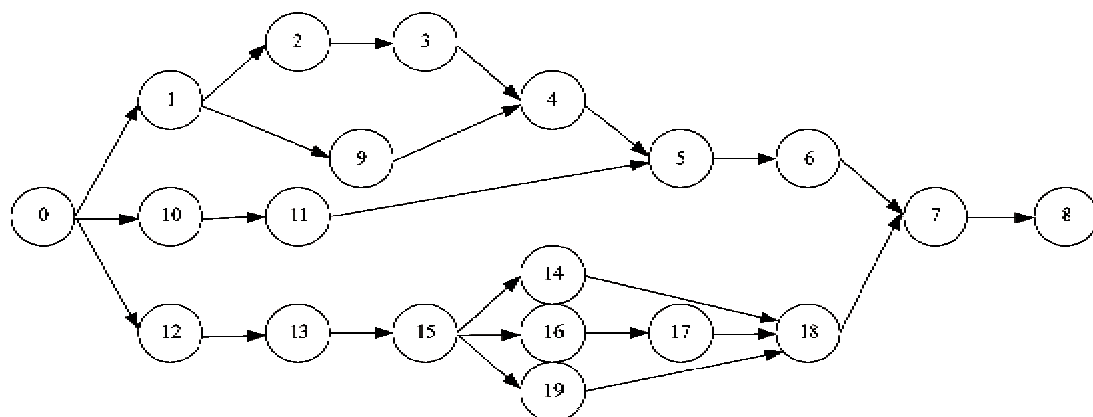


图 1 一个组合服务的例子

按照假设 2——一个成员服务可以为组合服务中的一个或者若干个活动提供实现,服务选择的过程就是从成员服务的集合中选择一个成员服务的子集,使得子集中的成员服务所实现的活动的集合恰好为组合服务中所包含的活动的集合。其数学模型如下:

$\langle A, S \rangle$ 由组合服务中所有的活动构成的有限集合 A 和成员服务的子集 S 构成。 S 覆盖了 A 并且根据组合服务的信任度估算算法计算的 S 的信任度 f 最大,即 $\frac{1}{f}$ 最小。即 A 中的每一个元素恰好属于 S 中某一个成员服务所实现的活动的集合,即 A

$= \bigcup_{s \in S} a(s)$, 其中 $a(s)$ 为成员服务 s 所实现的活动的集合且使得 $\frac{1}{f(\bigcup_{s \in S} a(s))}$ 最小。信任感知的成员服务选择问题就是从成员服务集合中找出 S 的过程。

这是一个最小代价集合覆盖问题,代价即为 $\frac{1}{f}$,为一类 NP-hard 问题。

1.2 基于蚁群系统的成员服务选择算法设计

1.2.1 成员服务选择问题的无向图表示

因为信任感知的成员服务选择问题就是从成员服务集合中找出最小代价覆盖集合 S ,也就是在成员服务集合中搜索 S 的过程,所以把成员服务集合

中的各个成员服务作为无向图中的节点,而节点 i 与节点 j 之间的距离定义为

$$d_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{若 } \alpha(i) \subseteq \alpha(j) \text{ 或者 } \alpha(j) \subseteq \alpha(i) \\ \frac{1}{t_i \cdot t_j}, & \text{否则} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\alpha(i)$ 为成员服务 i 所实现的活动的集合, t_i 为成员服务 i 的信任度。

1.2.2 信息素及其更新规则

具有 N 个具体服务的组合服务模型中信息素的初始值 $\tau_{ij}(0)$ 定义为

$$\tau_{ij}(0) = \frac{1}{0.5 \cdot N \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} d_{ij} / N^2} = \frac{2N}{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} d_{ij}} \quad (3)$$

$$\tau_{ij}(t + N) = (1 - R) \cdot \tau_{ij}(t) + R \cdot \tau_{ij}(0) \quad (4)$$

在蚁群完成一次迭代时,信息素采用如下的全局更新规则:

$$\tau_{ij}(t + N \cdot M) = (1 - R) \cdot \tau_{ij}(t) + R \cdot \Delta\tau_{ij}(t) \quad (5)$$

其中

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=0}^{M-1} \Delta\tau_{ij}^k(t) \quad (6)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{1}{L_k}, & \text{若蚂蚁 } k \text{ 在本次迭代中经过}(i,j) \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (7)$$

N 为成员服务的个数, M 为蚂蚁的个数, R 为信息挥发系数且 $R \in [0,1]$, L_k 表示第 k 只蚂蚁在本次迭代中所经过执行路径的总长度。

1.2.3 状态转移规则

位于节点 i 的蚂蚁依据下列规则来选择节点 j :
如果 $q \leq Q_0$, 有

$$\rho_{ij}(t) = \begin{cases} \text{Max}(\tau_{ij}(t)^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta), & \text{若 } j \in \{allowed\} \\ & \text{且 } i \text{ 到 } j \text{ 存在直接路径} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (8)$$

否则,有

$$\rho_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{n \cdot \tau_{ij}(t)^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{u \in allowed} \tau_{iu}(t)^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta} > 1, & \text{若 } j \in \{allowed\} \\ & \text{且 } i \text{ 到 } j \text{ 存在直接路径} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (9)$$

其中 $q \in [0,1]$ 之间的随机数, $Q_0 \in [0,1]$ 之间的常数, $\rho_{ij}(t)$ 为转移条件, $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ 为启发函数, α 为信息启发式因子, β 为期望启发式因子, $allowed = \{S - tabu\}$, S 为组合服务中所包含的成员服务的集合, $tabu$ 为蚂蚁搜索过程所产生的禁忌表, n 为 $allowed$ 中包含的成员服务的数量。

使用此定义来实现蚂蚁状态的转移可以保证寻找优化路径时避免陷入局部最优。

1.2.4 禁忌表更新

禁忌表在选定下一个具体服务 s 时更新,在更新时遵循以下 2 条规则:

规则 1: s 加入禁忌表。

规则 2: 与 s 所实现的活动集合存在交集的成员服务加入禁忌表。

1.2.5 调度算法的具体步骤

基于蚁群系统的调度算法的具体步骤如下:

(1) 参数初始化: 设循环次数 $N_s = 0$, 设置最大循环次数 $N_{s_{max}}$, 将 M 只蚂蚁置于起始服务上, 初始化信息素初值 $\tau_{ij}(0)$, $\Delta\tau_{ij}(t) = 0$;

(2) $N_s \leftarrow N_s + 1$;

(3) 蚂蚁数目 $k \leftarrow k + 1$;

(4) 依据禁忌表更新规则更新禁忌表;

(5) 依据状态转移规则选定下一个服务;

(6) 若有服务未搜索到, 转至(4), 否则转至(7);

(7) 依据信息素局部更新规则更新信息素;

(8) 若 $k \leq M$, 清空禁忌表, 转至(3), 否则转至(9);

(9) 依据信息素全局更新规则更新信息素;

(10) 若 $N_s \leq N_{s_{max}}$, 转至(2), 否则程序结束。

2 实验结果分析

采用如图 1 所示的组合服务的例子作为实验对象, 状态转移规则中信息启发式因子 $\alpha = 1$, 期望启发式因子 $\beta = 2$, 信息素更新规则中信息挥发系数为 $R = 0.1$, 蚂蚁数量 $M = 10$, 最大循环次数 $N_{s_{max}} = 10$ 。

在实验数据的生成上, 选用了 52 个成员服务作为搜索空间: 提供一个活动实现的成员服务共有 C_{20}^1 个, 选用了 20 个成员服务; 提供两个活动实现的成员服务共有 C_{20}^2 个, 选用了 9 个, 分别实现活动 $\{1,2\}, \{3,4\}, \{5,6\}, \{7,8\}, \{9,10\}, \{11,12\}, \{13,14\}, \{15,16\}, \{17,18\}$; 提供 3 个活动实现的成员服务共有 C_{20}^3 个, 选用了 6 个, 分别实现活动 $\{1,2,3\}$,

$\{4,5,6\}, \{7,8,9\}, \{10,11,12\}, \{13,14,15\}, \{16,17,18\}$;提供 4 个活动实现的成员服务共有 C_{20}^4 个,选用了 4 个,分别实现活动 $\{1,2,3,4\}, \{5,6,7,8\}, \{9,10,11,12\}, \{13,14,15,16\}$;提供 5 个活动实现的成员服务共有 C_{20}^5 个,选用了 3 个,分别实现活动 $\{1,2,3,4,5\}, \{6,7,8,9,10\}, \{11,12,13,14,15\}$;提供 6 个活动实现的成员服务共有 C_{20}^6 个,选用了 3 个,分别实现活动 $\{1,2,3,4,5,6\}, \{7,8,9,10,11,12\}, \{13,14,15,16,17,18\}$;提供 7 个活动实现的成员服务共有 C_{20}^7 个,选用了 2 个,分别实现活动 $\{1,2,3,4,5,6,7\}, \{8,9,10,11,12,13,14\}$;提供 8 个活动实现的成员服务共有 C_{20}^8 个,选用了 2 个,分别实现活动 $\{1,2,3,4,5,6,7,8\}, \{9,10,11,12,13,14,15,16\}$;提供 9 个活动实现的成员服务共有 C_{20}^9 个,选用了 2 个,分别实现活动 $\{1,2,3,4,5,6,7,8,9\}, \{10,11,12,13,14,15,16,17,18\}$;提供 19 个活动实现的成员服务共有 C_{20}^{19} 个,选用了 1 个,实现的活动为 $\{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19\}$ 。各个成员服务的信任度除 $\{0,51\}$ 设置了一组最优值(信任度设置为 1)外,其余成员服务的信任度值在 $(0,1)$ 之间随机生成。

分别进行了三组实验, Q_0 的取值分别为 0.8, 0.9 和 1.0, 实验结果如表 1、表 2 所示。

表 1 10 只蚂蚁循环执行 10 次的寻优结果

Q_0	最优覆盖 $\{0,51\}$ 的次数	最优可信度
0.8	100	1.0
0.9	100	1.0
1.0	100	1.0

$Q_0 = 0.8$, 10 只蚂蚁 10 次执行寻找到最优覆盖 $\{0,51\}$ 的几率为 100%; $Q_0 = 0.9$, 10 只蚂蚁 10 次执行寻找到最优覆盖 $\{0,51\}$ 的几率为 100%; $Q_0 = 1.0$, 10 只蚂蚁 10 次执行寻找到最优覆盖 $\{0,51\}$ 的几率为 100%。

表 2 蚁群循环执行 10 次的寻优结果

Q_0	最优覆盖 $\{0,51\}$ 的次数	最优可信度
0.8	10	1.0
0.9	10	1.0
1.0	10	1.0

蚁群的寻优性能受到 Q_0 取值的影响较小,在三种 Q_0 取值的情况下,寻找到最优覆盖 $\{0,51\}$ 的几率

均为 100%。可见,基于蚁群系统的服务选择算法具有较好的寻优性能。

3 结 论

信任概念和信任度为组合服务执行过程中的成员服务选择提供了新的依据,有助于高信任度的成员服务个体加入到服务组合中来,从而提高整个组合服务的信任度。本文将服务的信任度作为服务组合中成员服务的选择依据,讨论了组合服务中的成员服务选择问题。基于一个成员服务可能是组合服务中的一个或者若干个活动的实现体的假设,建立了组合服务中成员服务选择的数学模型,并设计了基于蚁群系统的选择算法。仿真实验结果表明,选择算法具有较好的寻优性能。

参考文献

- [1] Leymann, F. Web service flow language (WSFL) 1.0, <http://www-4.ibm.com/software/solutions/webservices/pdf/WSFL.pdf>, 2005
- [2] OASIS web services business process execution language (WSBP) TC, Business process execution language for web services, <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/wsbpel-v2.0.pdf>, 2008
- [3] Zeng L Z, Benatallah B. QoS-aware middleware for web services composition. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 2004, 30(5):311-327
- [4] Zeng L Z, Benatallah B, Dumas M, et al. Quality driven web services composition. In: *Proceedings of the 12th International Conference on World Wide Web*. New York: ACM Press, 2003. 411-421
- [5] 王勇,胡春明,杜宗霞. 服务质量感知的网格 workflow 调度. *软件学报*, 2006, 17(11):2341-2351
- [6] Qu Y, Lin C H, Wang Y Z, et al. QoS-aware composite service selection in grids. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Grid and Cooperative Computing*, Hunan, China: IEEE Computer Society Press, 2006. 458-465
- [7] 代钰,杨雷,张斌等. 支持组合服务选组的 QoS 模型及优化求解. *计算机学报*, 2006, 29(7): 1167-1178
- [8] 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. *软件学报*, 2007, 18(3):646-656
- [9] 金海,陈汉华,吕志鹏等. CGSP 作业管理器合成服务的 QoS 优化模型及求解. *计算机学报*, 2005, 28(4): 578-588
- [10] Wang Y, Hu C M, Huai J P. A new grid workflow description language. In: *Proceedings of the 2005 IEEE International*

- al Conference on Services Computing. Orlando, Florida, USA:IEEE Computer Society Press,2005. 257-260
- [11] Wang Y, Huai J P. Comparative analysis of BPEL4WS and a grid workflow language called GPEL. In: Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Services Computing. Orlando, Florida, USA: IEEE Computer Society Press, 2005. 253-254
- [12] Josang A, Ismail R. The beta reputation system. In: Proceedings of 15th Bled Conference on Electronic Commerce, Bled, Slovenia: IEEE Computer Society Press, 2002. 1-14
- [13] 王勇, 毛国君, 侯亚荣等. 组合网格服务的信任度估算算法. 北京工业大学学报, 2009, 35(10): 1407-1411

A component service selection algorithm for trust aware in service composition

Wang Yong^{*}, Dai Guiping^{**}, Jiang Zhengtao^{***}, Hou Yarong^{*}

(^{*} College of Computer Science & Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124)

(^{**} College of Electronic Information & Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124)

(^{***} School of Computer Science, Communication University of China, Beijing 100024)

Abstract

Because introducing the trust degree as the basis of component service selection can make composite services to be scheduled and executed around the trust degree of services, thus higher trust degree services can join into service composition and the trustiness of composite service can be improved, trust is introduced into service composition and the component service selection problem of trust aware in service composition is discussed. The mathematic model of the selection problem is proposed and the problem is reduced to a minimum cost set cover problem. The directed acyclic graph (DAG) presentation of the selection problem is established and the ant colony system based selection algorithm is designed. The analysis of the experimental results indicate the selection algorithm has good performance.

Key words: web services, trust, service composition, ant colony system, trust degree