

Web 服务工作流中基于信任关系的 QoS 调度

胡春华^{1),2)} 吴 敏²⁾ 刘国平^{2),3)}

¹⁾(湖南商学院计算机与电子工程学院 长沙 410205)

²⁾(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)

³⁾(英国格拉摩根大学 电子学院 英国 卡地夫 CF37 1DL)

摘 要 不确定或恶意欺骗的服务节点对服务工作流调度的影响常常是致命的,因此仅从性能 QoS 角度研究工作流调度存在片面性. 针对当前工作流调度中存在信任机制与调度机制分离的缺陷,提出了基于信任关系的工作流 QoS 调度方法,通过建立信任调度模型,利用 D-S 理论进行信任度计算,同时阐述了工作流路径级信任关系的概念及其传递、合并的计算方法,并将信任关系作为 QoS 调度的重要指标来综合考虑. 该方法在保证工作流性能 QoS 要求的同时兼顾信任 QoS 的要求,大量实验结果表明:该算法较传统的基于性能 QoS 的调度而言,不仅具有更优的 QoS 性能,而且显著提高了调度的成功率.

关键词 Web 服务;工作流;信任;QoS 调度;D-S 理论

中图法分类号 TP393

DOI 号: 10.3724/SP.J.1016.2009.00042

QoS Scheduling Based on Trust Relationship in Web Service Workflow

HU Chun-Hua^{1),2)} WU Min²⁾ LIU Guo-Ping^{2),3)}

¹⁾(School of Computer and Electronic Engineering, Hunan University of Commerce, Changsha 410205)

²⁾(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083)

³⁾(School of Electronics, University of Glamorgan, Pontypridd CF37 1DL, UK)

Abstract The influence of the uncertain or deceiving service nodes on the Web service workflow scheduling performance is generally fatal, so the problems of QoS scheduling can not be completely solved by the performance-QoS. The paper is concerned with the problem that trust mechanism is largely ignored in existing scheduling algorithms of service workflow. A novel algorithm of service workflow scheduling is proposed based on trust relationship in Web service workflow, and the trust value is computed by D-S theory. At the same time, the workflow path-level trust concept and the trust transfer are introduced, and the trust relationship is taken as an important parameter for QoS scheduling. The algorithm satisfies both the requirement of workflow performance-QoS and the requirement of trust-QoS. The experimental result shows that the new algorithm can obviously enhance the success rate of the service workflow execution, and it has better overall performance in other aspects such as executive time, stability and so on, compared to the traditional algorithm based on scheduling of performance-QoS.

Keywords Web service; workflow; trust; QoS scheduling; Dempster-Shafer theory

收稿日期:2007-10-06;最终修改稿收到日期:2008-12-04. 本课题得到国家杰出青年科学基金(60425310)、国家“八六三”高技术研究发展计划项目基金(2006AA04Z172)、国家自然科学基金(60674016)、中国博士后基金(20080440988)和湖南省自然科学基金(05JJ40103)资助. 胡春华,男,1973 年生,博士,副教授,主要研究方向为 Web 服务工作流、跨企业协同制造等. E-mail: huchunhua777@163.com. 吴 敏,男,1963 年生,博士,教授,博士生导师,研究领域为计算机网络、分布式计算等. 刘国平,男,1962 年生,博士,教授,博士生导师,研究领域为智能网络、网络化控制等.

1 引言

随着 SOAP、UDDI 及 WSDL 等相关技术的迅速发展, Web 服务已逐步从企业级服务集成过渡到面向互联网环境的服务体系结构之上. Web 服务工作流(又称 Web 服务组合)作为实现网络中服务资源协同工作的一项重要手段, 将互联网中多个服务组装成一个具有更大粒度的增值服务或系统, 供上层的应用访问或其他的需要^[1], 已获得了学术界及工业界的广泛重视. 近年来, 随着服务工作流技术在商业及科学计算领域的逐步应用, 其服务质量(QoS)调度已成为新的研究热点.

在服务质量感知的 Web 服务工作流调度方面, 目前国内外主要侧重于服务工作流中基于性能 QoS 的调度算法研究^[2-4]. 性能指标包括如执行时间、服务费用、路径带宽等参数. 但实践中, 服务请求者或提供者中任何一方由于信任缺失引发的恶意为均会降低服务质量的性能, 这因工作流具有事务性特征尤显突出, 因此工作流中任意一不可信服务常导致整个工作流的服务质量不可控. 例如: 若某请求者恶意使用网络中的服务资源, 将必然增大服务提供者的资源消耗, 降低其提供服务的能力; 反之, 若提供的服务安全性差或易失效, 将降低服务工作流执行的效率或成功率. 文献[5-6]的研究中引入了信任机制, 但对信任关系的演化还未从服务工作流的路径级上来考虑, 显然从工作流的路径级信任关系来考虑较为适合工作流这种多交互服务间的整体信任关系. 因此, 在保证性能 QoS 需求的同时兼顾信任 QoS 要求, 设计信任 QoS 增强的服务工作流调度算法, 形成融入信任机制的工作流调度策略等方面亟待深入研究.

本文针对此问题, 首先详细阐述了工作流服务间存在直接信任、推荐信任及间接演算信任的相互关系, 解决了服务组合中工作流路径级信任的表述、度量、推导、合并、演化等问题, 并利用 D-S 理论将各种推荐证据转化为间接信任, 同时把直接信任与间接信任组合为综合信任, 从而获得了工作流路径级信任的计算方法; 针对服务工作流的逻辑控制结构, 分别给出了不同控制结构的信任度计算; 在此基础上, 提出了一种基于信任 QoS 的服务工作流调度算法, 该算法在取得较好的性能 QoS 同时兼顾了信任 QoS 需求. 实验结果表明: 该算法较传统的基于性能 QoS 的调度而言, 不仅具有较优的 QoS 性能,

而且显著地提高了系统的调度成功率.

2 相关工作

本节介绍当前互联网环境中一些典型信任关系的研究方法与信任 QoS 调度的研究进展情况.

2.1 信任关系研究

目前网络环境下信任关系的研究方法多种多样, 其中比较突出的工作有: 麻省理工学院的 Azzedin 等人首次将信任引入网格服务资源的管理中, 提出考虑信任的作业调度会增加额外负载, 同时设计了负载最小化调度算法^[5]; 南加州大学的 Hwang 等在网格服务资源的调度中引入信任的模糊测度, 提出了信任类型的定义机制和评价方法, 并给出了信任关系的推导规则^[6]; 北京航空航天大学的怀进鹏等利用契约的信任协商机制, 对网络服务中无法进行的协商请求预先终止, 对信任证和访问控制策略中隐私信息进行保护, 来建立信任关系^[7]. 同济大学的曾国荪等参考社会学的人际关系信任模型, 建立了网格节点的信任推荐机制, 定义出信任度的计算函数^[8].

2.2 信任 QoS 调度研究

信任 QoS 主要包括可信度(credibility)、声誉度(reputation)等性能指标^[9]. 可信度也称信任度, 是一个节点对另一节点的主观看法, 是对节点提供的信息的信任程度; 声誉度是其它相关节点对某节点的综合评价. 一个节点的声誉度与其可信度的主要区别在于, 前者是一个客观的总体看法, 而后者是某个节点对另一个节点给与合作的信任量度. 换句话说, 一个节点在某时刻的声誉是确定的, 但在不同的两个节点眼中, 其可信度却未必一致.

信任 QoS 调度问题实际是一个主观寻找可信度较高的路径问题, 因此可信度是信任 QoS 中的最关键指标, 可以将信任 QoS 归一化成可信度这一指标来研究. 对于网格服务的信任 QoS 调度方面的研究, 相关工作较少, 主要有: Li 等人分析了潜在影响应用任务正常执行的因素, 提出了信任 QoS 驱动的网络调度框架及相关算法^[10]. 方滨兴等引入网格信任模型与信任效益函数, 研究了信任 QoS 增强的计算服务调度问题, 并设计了计算服务的启发式调度算法^[11]. 此外, 我们在基于信任 QoS 的服务工作流演化机制方面取得了一些初步成果^[12], 对服务工作流中信任关系的宏观自组织演化机制进行了研究.

总之, 目前基于信任 QoS 的调度研究还处在起步阶段, 对服务工作流具有事务性又兼有分布性的

特性的研究仍缺乏深入、清晰的方法,尤其对作为服务组合有效方法的服务工作流的信任 QoS 研究还很少. 本文利用不确定性推理理论对服务工作流中的推荐证据进行综合分析,从而解决了服务工作流信任度的计算问题,方便用户找出合理的工作流执行路径,降低恶意推荐者的信任度,来提高服务工作流执行的成功率.

3 workflow 信任模型与信任度计算

在互联网环境下,服务节点向其它服务节点所提供的推荐证据是不精确、不全面、不绝对可靠的. D-S 证据理论^[13-14]将概率论中的单点赋值扩展为集合赋值,弱化了相应的公理系统,满足了比概率更弱的要求,因此在不确定性推理方面比较科学,且在其他领域已广泛应用. 本文考虑服务工作流中服务具有分布性及事务性特征的实际,利用证据理论对服务间的信任关系进行综合分析.

3.1 基于 D-S 的工作流信任度计算框架

D-S 证据理论中,可以用信任函数、似然函数及类概率函数来描述知识的精确信任度、不可驳斥信任度及估计信任度,即可以从不同角度刻画命题的不确定性;证据理论中还提出了对多个证据的组合规则,即 Dempster 规则. 其形式化定义如下:设 m_1 和 m_2 为两个证据的信度分配函数,则对这两个证据的组合得出组合证据的信度分配函数为^[13-14]

$$m_1(A) \oplus m_2(B) = K^{-1} \sum_{B \cap C = A} m_1(A) m_2(B) \quad (1)$$

其中 K 为归一化因子,且 $K \neq 0, K = \sum_{A \cap B \neq \emptyset} m_1(A) m_2(B)$; 对 n 个证据进行组合的 Dempster 一般化规则为

$$m_{1..n}(A) = K_n^{-1} \sum_{\cap_i A_i = A} m_1(A_1) m_2(A_2) \cdots m_n(A_n) \quad (2)$$

其中, $A \neq \emptyset, K_n = \sum_{\cap_i A_i \neq \emptyset} m_1(A_1) m_2(A_2) \cdots m_n(A_n)$.

实际运用中,实体的信任度既用不确定区间表示,也可以用类概率函数来度量^[8,15]. 本文为了简单起见,采用类概率函数来分析.

定义 1. 设服务工作流 QoS 调度模型的信任识别框架 Θ 为集合 $\{T(\text{信任}), F(\text{不信任})\}$, Θ 的幂集合 2^Θ 为 $\{\emptyset, \{T\}, \{F\}, \{T, F\}\}$. 服务间信任关系采用三元素 $C = \langle m(\{T\}), m(\{F\}), m(\{T, F\}) \rangle$ 描述,其中, T 表示可信度, F 表示不可信度, $\{T, F\}$ 表示不确定的信任关系,且其和: $m(\{T\}) + m(\{F\}) +$

$$m(\{T, F\}) = 1.$$

(1) 直接经验. 采用三元组 $\langle s, f, u \rangle$ 描述,其中, s 为在最近某时间范围内成功协作的次数, f 为其范围内失败次数, u 为不确定的信任关系. 则 A 与 B 的直接信任关系 $C_{A,B}^A$ 可以用下式来表示:

$$C_{A,B}^A = \langle m_B^A(\{T\}), m_B^A(\{F\}), m_B^A(\{T, F\}) \rangle,$$

其中,

$$m_B^A(\{T\}) = S_{A,B}^S / Z_{A,B}, m_B^A(\{F\}) = S_{A,B}^f / Z_{A,B},$$

$$m_B^A(\{T, F\}) = 1 - m_B^A(\{T\}) - m_B^A(\{F\}),$$

上式中, $Z_{A,B}$ 为某时间范围内 A 与 B 的总交互次数; $S_{A,B}^S$ 为在 A 看来交易成功的次数; $S_{A,B}^f$ 为在 A 看来交易失败的次数. 若 $Z_{A,B} = 0$,则表示 A 与 B 还没有交互行为,此时 A 对 B 的直接信誉值是不确定的.

(2) 推荐信息. 为推荐者与目标对象间的信任关系记为

$$C_{i,O}^{A \leftarrow C} = \langle m_{i,O}^{A \leftarrow C}(\{T\}), m_{i,O}^{A \leftarrow C}(\{F\}), m_{i,O}^{A \leftarrow C}(\{T, F\}) \rangle,$$

表示某时间范围内实体 C 提供给 A 的关于实体 O 的推荐信息.

定义 2. 设信任函数 Bel_B^A 为

$$Bel_B^A: 2^\Theta \rightarrow [0, 1], Bel_B^A(X) = \sum_{Y \subseteq X} m_B^A(Y),$$

$$X \subseteq 2^\Theta, Y \subseteq 2^\Theta.$$

$$\text{易推出 } Bel_B^A(\{T\}) = \sum_{Y \subseteq \{T\}} m_B^A(\{Y\}) = m_B^A(\{T\}),$$

$Bel_B^A(\{T\})$ 的含义为服务工作流中协同服务实体 A 认可服务实体 B 的程度.

定义 3. 设似然函数 Pl_B^A 为

$$Pl_B^A: 2^\Theta \rightarrow [0, 1], \text{ 且}$$

$$Pl_B^A(X) = 1 - Bel_B^A(\neg X) = \sum_{Y \cap X \neq \emptyset} m_B^A(Y),$$

$$X \subseteq 2^\Theta, Y \subseteq 2^\Theta.$$

易得 $Pl_B^A(T) = m_B^A(\{T\}) + m_B^A(\{T, F\}) = 1 - m_B^A(\{F\})$, $Pl_B^A(T)$ 为服务工作流中协同服务实体 A 不否认服务实体 B 的程度.

可得: 区间 $[Bel_B^A(\{T\}), Pl_B^A(T)]$ 表示服务实体 A 对服务实体 B 信任的不否定范围,同时还可以用类概率函数表示;由文献[8]可知,网络中具有交互行为的实体间信任的类概率函数为

$$f_B^A(\{T\}) = (1 + 2m_B^A(\{T\}) - m_B^A(\{F\})) / 3 \quad (3)$$

同时也指出其类概率函数在一定条件下,即为此时的确实信任度,具体如下.

定义 4. 设服务实体 A 对实体 B 的可信度为

$$H_B^A(T) = MD(T/E) \times f_B^A(T),$$

其中 $MD(T/E)$ 为知识的前提条件与相应证据 E 的

匹配度^[15].

显然,在网络中 T 所要求的证据都会出现.若某一服务的推荐证据还没出现,另一服务的相关知识证据将继续进行推理,直到其出现为止;据 D-S 证据理论的定义可知,此处 $MD(T/E)=1$.从而易得

$$H_B^A(T) = f_B^A(\{T\}) = (1 + 2m_B^A(\{T\}) - m_B^A(\{F\}))/3 \quad (4)$$

3.2 服务工作流路径级的可信度计算

网格中服务实体间存在信任信息的传递及叠加现象^[16-17].服务工作流由服务按一定的逻辑关系组合而成,显然也存在相关现象;但工作流中服务具有事务性特征,即用户提交工作流服务时,只有整个工作流路径都完成时才有效.因此,服务工作流的信任关系除了描述交互服务实体间的信任关系外,还必须能够描述工作流路径级的信任情况,为用户选择工作流路径时的重要依据,显然在多个候选的工作流链路中,选择可信度高的工作流链路能够提高任务完成的成功率.在本节中,我们借鉴已有的单个服务实体间的信任关系描述,进而将其推广到工作流路径级信任关系的描述.

3.2.1 路径级信任关系计算

在信任关系中,路径级的信任关系是更高层次上的信任演化关系,涉及的不仅仅是单个服务的信任演化,而是工作流路径中服务间若干个信任信息组合后的信任关系,因而更为复杂.目前人们对这个问题研究得较少,但在实践中,路径级的信任关系演化对工作流的调度显得尤为重要.

首先,给出服务工作流路径的定义.

定义 5. 路径 $P_{i,j} = \{S_{i,j}, L_{i,j}\}$, 即对于节点 i 为起点的工作流路径 j 记为 $P_{i,j}$, 其中 S_i 为路径中的服务节点序列 $S_{i,j} = \kappa; s_i \rightarrow s_{i+1} \rightarrow \dots \rightarrow s_{n+1}$, s_i 为服务申请者, $L_{i,j}$ 为服务工作流路径之间的链路连接序列 $L_{i,j} = \Gamma; l_i \rightarrow \dots \rightarrow l_n$.

定义 6. 工作流的路径级信任关系的描述如下:对于节点 i 为起点的第 j 条路径 $P_{i,j}$ 的信任关系 $C_P^{i,j}$ 用三元组表示: $C_P^{i,j} = \{C_{D,P}^{i,j}, C_{R,P}^{i,j}, C_{I,P}^{i,j}\}$, 其分别表示对于直接信任关系 $C_{D,P}^{i,j}$, 推荐信任关系 $C_{R,P}^{i,j}$, 间接演算信任关系 $C_{I,P}^{i,j}$.

根据单个服务和多个服务间信任信息的传递与合并性质,可以推出工作流路径级中 3 种信任关系的计算方法:

(1) 直接信任关系.在定义 6 中直接信任关系记为 $C_{D,P}^{i,j}$, 也采用三元组 $\langle s, f, u \rangle$ 描述.物理意义表示此路径可完成任务的可信程度的直接经验.

路径 $P_{i,j}$ 的直接信任关系 $C_{D,P}^{i,j}$ 可如下表示:

$C_{D,P}^{i,j} = \langle m_{D,P}^{i,j}(\{T\}), m_{D,P}^{i,j}(\{F\}), m_{D,P}^{i,j}(\{T, F\}) \rangle$, 其中,

$$m_{D,P}^{i,j}(\{T\}) = S_{P_{i,j}}^S / Z_{P_{i,j}}, \quad m_{D,P}^{i,j}(\{F\}) = S_{P_{i,j}}^f / Z_{P_{i,j}}, \\ m_{D,P}^{i,j}(\{T, F\}) = 1 - m_{D,P}^{i,j}(\{F\}) - m_{D,P}^{i,j}(\{T\}).$$

在上式中, $Z_{P_{i,j}}$ 为此路径在最近某时间范围内完成用户申请任务总的次数, $S_{P_{i,j}}^S$ 为在服务节点 i 看来第 j 条路径成功执行的次数, $S_{P_{i,j}}^f$ 为在服务节点 i 看来第 j 条路径交易失败的次数.

此时由路径 $P_{i,j}$ 的直接信任关系得到的不确定性区间为

$$[Bel_{D,P}^{i,j}(\{T\}), Pl_{D,P}^{i,j}(T)],$$

其中,

$$Bel_{D,P}^{i,j}(\{T\}) = m_{D,P}^{i,j}(\{T\}), \\ Pl_{D,P}^{i,j}(T) = 1 - m_{D,P}^{i,j}(\{F\}).$$

由定义 4 易得其可信度为

$$H_{D,P}^{i,j} = (1 + 2m_{D,P}^{i,j}(\{T\}) - m_{D,P}^{i,j}(\{F\}))/3 \quad (5)$$

(2) 推荐信任关系.它是指其它服务节点对此路径的推荐信任关系.对于节点 i 为起点的第 j 条路径 $P_{i,j}$ 的推荐信任记为 $C_{R,P}^{i,j}$.对于推荐信任关系的计算与服务间的信任传递计算方法类似,假设有推荐者“ $A \leftarrow B \leftarrow \dots \leftarrow D \leftarrow P_{i,j}$ ”,即工作流路径 $P_{i,j}$ 的信任关系经过中间的推荐实体 B, C, D 的推荐,则路径对 A 的推荐信任为

$$C_{R,P}^{i,j} = C_{R,B}^A \otimes C_{I,E}^{B \leftarrow C}, \quad C_{I,E}^{B \leftarrow C} = C_{R,C}^B \otimes C_{I,E}^{C \leftarrow D}, \\ C_{I,E}^{C \leftarrow D} = C_{R,D}^C \otimes C_{D,P}^{D, P_{i,j}}.$$

同样对于多个推荐服务实体得到的推荐信任关系应进行合并计算,与两服务间的推荐信任合并类似,多条路径级的推荐信任也采用类似的合并计算.其合并推荐信任记为

$$C_{C,P}^{i,j} = \{m_{C,P}^{i,j}(T), m_{C,P}^{i,j}(T, F), m_{C,P}^{i,j}(F)\},$$

其中,

$$m_{C,P}^{i,j}(T) = \beta S_i \sum_{K=1}^n (m_{I,P_{i,j}}^{i \leftarrow K}(T) \times m_{R,K}^i(T) / \sum_{K=1}^n m_{R,K}^i(T)), \\ m_{C,P}^{i,j}(F) = \beta S_i \sum_{K=1}^n (m_{I,P_{i,j}}^{i \leftarrow K}(F) \times m_{R,K}^i(F) / \sum_{K=1}^n m_{R,K}^i(F)), \\ m_{C,P}^{i,j}(T, F) = 1 - m_{C,P}^{i,j}(T) - m_{C,P}^{i,j}(F),$$

在上式中, K 为多路径级中除端路径以外的任意一多路径;系数 β 为信任信息传播时的衰减因子,信任信息在理论上可以通过任意长度的信任链进行传播,实际中会随着链路的增长而衰减直至消亡^[17], β 取值为区间 $[0, 1]$ 中的常数; S_k 为服务节点 k 向链路

的推荐分量, S_k 满足

$$\sum S_k = 1,$$

其中, $S_k (k=1, 2, \dots, n) \geq 0$.

下面给出合并后的不确定性区间 $[Bel_{C,O}^{i,j}(\{T\}), Pl_{C,O}^{i,j}(T)]$ 的计算方法, 在上面信任合并计算的基础上, 由定义 2 和定义 3 可得

$$Bel_{C,O}^{i,j}(\{T\}) = m_{C,P}^{i,j}(T), Pl_{C,O}^{i,j}(T) = 1 - m_{C,P}^{i,j}(F).$$

据定义 4 可得其路径级工作流的推荐信任度为

$$H_{C,P}^{i,j} = (1 + 2m_{C,P}^{i,j}(\{T\}) - m_{C,P}^{i,j}(\{F\})) / 3 \quad (6)$$

开放的网络中服务实体具有较高的欺骗行为发生概率, 为了降低和避免欺骗行为造成的影响, 本文采取了如下措施:

① 引入惩罚策略. 根据具体情况对不诚实节点进行惩罚, 如其提供不诚实评价 (含恶意低评和故意高评), 认定为与该推荐节点进行了一次失败的交互; 如恶意修改或伪造行为记录等, 则会被认为进行了两次失败的交互操作;

② 增加量值机制. S_k 反映了节点 k 的推荐分量, 所以针对不同的推荐者设置不同的量值. 对于经常与自己交互的推荐者, 其推荐分量重, 相应的量值也高; 反之, 较少与自己交互的推荐者, 其量值也较低. 这样可以降低不诚实推荐者对最终信任度的影响, 从而有效抑制推荐者提供欺骗性推荐信息的可能.

(3) 间接推算信任关系. 指在服务工作流中, 从起始服务到末端服务存在多条可选路径, 某些路径虽未获得执行, 但具备完成工作流的能力, 我们把这种多段路径间接形成的信任关系称为间接信任度, 而推算这种信任度的推算过程称为路径级间接信任关系演化. 这种计算针对实践中既无直接信任也无推荐信任的路径级信任关系, 现将此间接推算获得的信任关系记 $C_{I,P}^{i,j}$.

对于路径起始节点 i 的第 j 条路径上的所有服务, 通过每个服务间的信任关系可以推算得到 i 的第 j 条路径的间接推算信任关系 $C_{I,P}^{i,j}$. 假设此路径上的服务分别为 A, B, C, D, E , 则此路径的间接推算信任关系 $C_{I,P}^{i,j}$ 据文献[17]可得

$$C_{I,P}^{i,j} = C_{R,B}^A \otimes C_{R,C}^B \otimes C_{R,D}^C \otimes C_{R,E}^D,$$

则可以推导其不确定性区间 $[Bel_{I,P}^{i,j}(\{T\}), Pl_{I,P}^{i,j}(T)]$,

其中 $Bel_{I,P}^{i,j}(\{T\}), Pl_{I,P}^{i,j}(T)$ 为

$$Bel_{I,P}^{i,j}(\{T\}) = Bel_B^A(\{T\}) \times Bel_C^B(\{T\}) \times$$

$$Bel_D^C(\{T\}) \times Bel_E^D(\{T\}),$$

$$Pl_{I,P}^{i,j}(T) = 1 - (1 - Pl_B^A(T))(1 - Pl_C^B(T)) \cdot$$

$$(1 - Pl_D^C(T))(1 - Pl_E^D(T)).$$

从而可计算得到服务工作流中该路径的可信度为

$$H_{I,P}^{i,j} = \frac{1}{3} (1 + 2Bel_B^A(\{T\}) \times Bel_C^B(\{T\}) \times Bel_D^C(\{T\}) \times Bel_E^D(\{T\}) - (1 - Pl_B^A(T))(1 - Pl_C^B(T)) \cdot (1 - Pl_D^C(T))(1 - Pl_E^D(T))) \quad (7)$$

3.2.2 路径级信任关系的合并计算

对于 3 种不同信任关系的合并, 即统一为某一信任评价关系式来描述, 现已有许多研究, 其中最简单的方法是采用加权的形式, 按比例合成, 如分别给出 k_1, k_2, k_3 的值, 且 $k_1 + k_2 + k_3 = 1$, 合成的信任关系为加权和; 还有按数学概率、小事件概率方法^[6,15]等.

我们借鉴了社会交往的信任方式. 在社交实践中, 当某人来到新的环境中, 起初其对周围环境不熟悉, 主要是依靠间接经验 (别人的介绍与评价) 来判断; 随着交往的增多, 则更多地依靠自己亲身交往的经验 (直接经验) 来决定. 与此类似, 在服务工作流的实践中, 一个新产生的服务往往开始依靠间接信任经验, 随着直接信任关系的增强, 则更倾向相信直接经验. 因此对信任的合成, 本文采用的方法是按直接经验积累的多少来决定比例关系, 采用如下的公式实现: 如果直接经验很少, 小于某一可信度阈值, 则较少采用直接经验, 当超过一定阈值后直接经验的权值快速上升, 当上升到最大的阈值后保持一定的信任水平. 如果直接经验值为 0, 显然不适合采用式 (8) 来进行评判, 且公式中也不会出现直接信任经验的、最小阈值为 0 的情形.

$$p = \begin{cases} p_{\min} \left(1 - \frac{T_{\min} - T_{av}}{T_{\min}} \right), & T_{av} < T_{\min} \\ p_{\max} \times \frac{T_{av} - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}, & T_{\min} < T_{av} < T_{\max} \\ \frac{1 - p_{\max}}{T_{\max}} T_{av} + 2p_{\max} - 1, & T_{\max} < T_{av} < normal \\ \frac{normal - T_{av}}{T_{av}} p_{\max}, & T_{av} > normal \end{cases} \quad (8)$$

其中, p_{\min} 、 p_{\max} 分别表示直接信任经验在整个信任中最低、最高权重, T_{\min} 、 T_{\max} 分别表示直接信任经验的、最小阈值, T_{av} 表示最近某时间内的直接信任经验平均值, $normal$ 表示正常的直接信任经验水平; 一般说来直接信任关系只占一定比例, 不会存在只有直接信任关系而无间接的推荐信任关系的实体, 从而我们定义了直接信任关系的正常水平值为 $normal$.

因此, 对于以节点 i 为起点的第 j 条路径 $P_{i,j}$ 的

信任关系 $C_P^{i,j}$, 其推荐信任与间接信任演算的结果都是间接信任关系, 在本文中采用相同的权值。

经过归一化处理后的信任关系计算为

$$C_P^{i,j} = p \times C_{D,P}^{i,j} + [(1-p)/2] \times C_{R,P}^{i,j} + [(1-p)/2] \times C_{L,P}^{i,j} \quad (9)$$

故可以计算出服务工作流路径级的可信度 $H_{Total,P}^{i,j}$ 为

$$H_{Total,P}^{i,j} = p \times H_{D,P}^{i,j} + [(1-p)/2] \times H_{C,O}^{i,j} + [(1-p)/2] \times H_{L,P}^{i,j} \quad (10)$$

3.3 服务工作流可信度的计算方法

上节分析了服务工作流中路径级的可信度计算

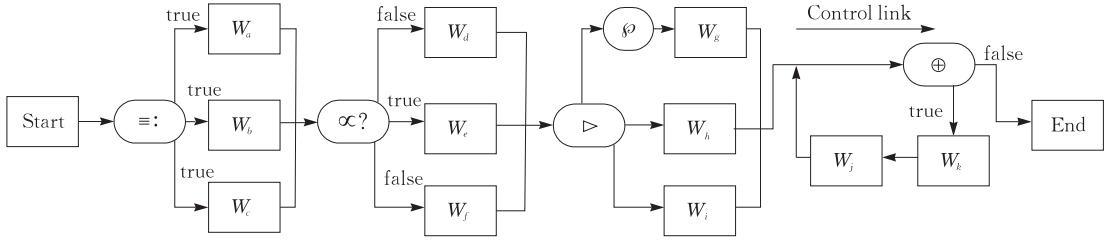


图 1 工作流逻辑结构实例

下面根据工作流的逻辑结构, 分别给出 5 种控制模式的可信度计算方法。

(1) 顺序关系: sequence. 包含一组顺序执行的活动, 图 1 用 \rightarrow 表示。

$H_{sequence} = H_{Total,P}^{i,j}$; // 计算方法与上节路径级工作流的信任关系计算相同

(2) 选择关系: switch. 根据条件表达式定义的判断条件进行不同服务的路由选择, 用 ∞ 表示。

$H_{switch} = \max\{H(E_1), H(E_2), \dots, H(E_n)\}$; // 为多个可选信任度的析取

(3) 循环关系: while. 根据条件为真时循环执行服务, 图 1 用 \oplus 表示。

$H_{while} = H_{sequence}^n$; // 循环关系与顺序关系基本思想相同, 其中 n 为循环次数

(4) 并行关系: flow. 定义一组并行执行的服务, 当服务都执行完成时, 表示该并行服务完成, 图 1 中用 \equiv 表示。

$H_{flow} = \min\{H(E_1), H(E_2), \dots, H(E_n)\}$; // 为多个可选信任度的合取

(5) 事件选择关系: pick. 该活动包含一组事件, 每个事件都和某个服务相关. 一旦某个事件到达, 和该事件关联的服务就会被执行, 当该服务执行完后 pick 服务也完成, 图 1 用 ϕ 表示。

$H_{pick} = H_{switch}$; // 与 switch 关系的计算方法类似。

通过以上处理可以将服务工作流的多种控制

方法, 其实质是一种按顺序关系的可信度计算规则。服务工作流由多个服务通过若干种控制结构组合而成, 其工作逻辑按工作流的控制结构依次执行, 工作流中使用的控制结构运算符依据 BPEL (Business Process Executable Language) 的定义共有 5 个, 分别为 sequence、switch、while、flow 和 pick 等 5 种基本的控制模式。这样一条服务工作流的执行路径中可能存在着多种控制结构, 从而使得服务工作流中信任关系的分析与计算复杂起来, 图 1 为某工作流执行的例子, 其中共有 5 种控制结构。

结构转换成一条按顺序执行的工作流形式, 调用式(10)的开展计算, 从而可以计算得到服务工作流整个路径的可信度, 也即整个工作流的信任 QoS。

一般来说, 对 n 个证据进行组合的 Dempster 规则是指数时间算法^[14], 文献[18]给出了在 Grid 与 P2P 混合计算环境中, 采用基于 Dempster 规则的递归算法可在线性时间内计算出推荐信任推理模型的信任度。本文可以设定服务工作流中有 M 个逻辑控制结构, 每个控制结构中有 N 个服务节点的抽象模型, 该模型在本质上和文献[18]提出的推荐信任推理模型相似, 从而易得其计算方法的时间复杂度为 $\Theta(MN)$, 限于篇幅, 这里不再赘述。

3.4 服务工作流中信任关系的演化

上面探讨了服务工作流中整个路径的信任度计算问题, 通过上述的计算方法可以获得某时刻工作流路径上的信任关系, 本节将分析工作流的信任关系随时间的变化情况; 信任关系演化是指工作流中的信任关系随着协作的自动发展与更新的过程。

3.4.1 信任关系的发展

服务工作流在交互过程中, 服务与服务间不断地进行交互, 因此服务间的信任关系是不断发展变化的, 如何计算在不同时刻服务间的信任演化关系是一个重要的问题。在实践中因存在局部性原理, 即最近时间内得到的信任关系重要性比较大, 也须兼顾其历史的信任情况, 本文为了简单起见, 只考虑特

定时间的历史信任关系,提出了一种按比例调节信任关系演化计算方法如下:

$$\begin{aligned} C_{s,A}^{t+1}(B) &= \rho C_{s,A}^t(B) + (1-\rho)C_{s,A}^{t-n,t+1}(B), \\ C_{f,A}^{t+1}(B) &= \rho C_{f,A}^t(B) + (1-\rho)C_{f,A}^{t-n,t+1}(B), \\ C_{u,A}^{t+1}(B) &= 1 - C_{s,A}^{t+1}(B) - C_{f,A}^{t+1}(B), \end{aligned}$$

上式中 $C_{s,A}^{t+1}(B)$ 表示 $t+1$ 时刻 A 对 B 的成功信誉值; $C_{f,A}^{t+1}(B)$ 表示 $t+1$ 时刻 A 对 B 的失败信誉值. $C_{u,A}^{t+1}(B)$ 表示 $t+1$ 时刻 A 对 B 的无效交互信誉值(或者不确定值); ρ 为比例调整系数,其值为区间 $[0,1]$ 中的常数,表示历史交互信息与最近一段交互的信息在信誉值计算中的权重比值.

3.4.2 信任关系的更新场景

以往的信任关系传播中,往往采用泛洪广播方式传播;实际中,正如社会关系的传播一样,传播应只在感兴趣的实体间传播得到的信任关系才是有价值的,不相关领域的实体评价意义不大.此外,这种传播也造成了不必要的网络风暴,目前网络中很少考虑这种负载.因此在本文中,我们提出了如下网络评价更新机制:(1) 当交互时信任信息是自动更新的,每一服务实体设定有一定阈值,当超过特定阈值时才自动发起信任更新请求,而在正常工作时,只是将经过服务本身的信任进行更新;(2) 信任关系的传播模式如图 2 所示.发出的信任更新广播报文仅限于相关的服务间,这样就有效地减少了网络广播信息包,在信任关系传播时,由发起者发出信任广播报文,每个接受到的信任广播报文的服务将自己经过综合的信任信息向“上游”传递.总的来说,信任信息传播按照如下原则进行:(1) 当评估者向其推荐者发送请求时,推荐者才将相关信任信息传递给请求者;(2) 推荐者传递的是经过自身处理的信任信息;(3) 推荐者只接受来自“上游”的推荐请求.

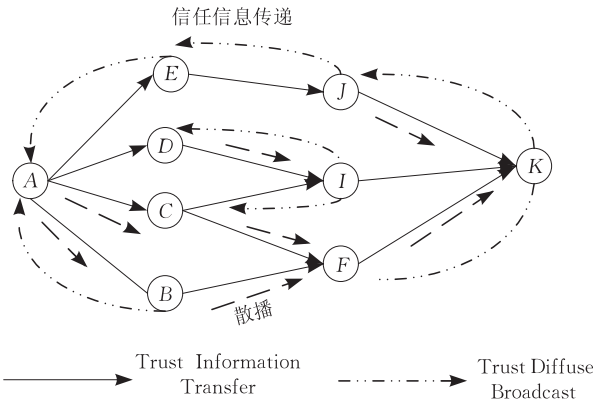


图 2 信任关系的传播与传递模式

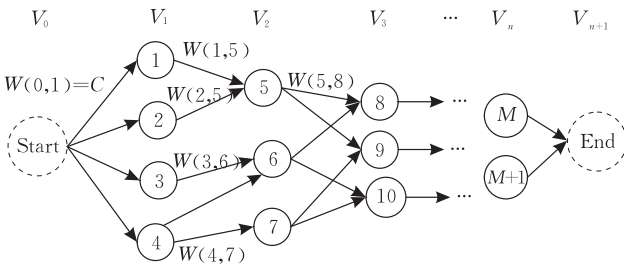
4 服务工作流的信任 QoS 调度

服务工作流的执行具有分布式且事务性的特征,如执行路径中某一服务的调度失败,可能导致致命的影响,造成整个工作流不可用,因此具有信任的 QoS 调度对其尤其重要.信任的 QoS 调度其目标是当用户提交工作流申请后,通过上节提供的方法对相关的候选路径进行可信度计算,在兼顾性能 QoS 同时,为其在网络中匹配信任度最高的服务实例,使用户获得高质量的服务工作流执行路径,保证工作流的执行.显然选择工作流执行实例是要在众多的候选服务实例中,找到一条既考虑服务的信任 QoS 特征,又能兼顾工作流其它 QoS 综合性能指标的“理想”的路径,考虑信任特征能够使得服务工作流执行路径具有更高的可用度.本文中主要考虑基于信任 QoS 的调度,将性能 QoS 的特征用一个虚拟的 QoS 指标来代替,这样可以更方便地关注信任 QoS 这一指标,采用简单的归一化处理后表示如下:

$$W(i,j) = \lambda Q_{i,j}^{\text{Credit}} + (1-\lambda)Q_{i,j}^{\text{other}} \quad (11)$$

其中 $W(i,j)$ 为服务节点 i 和 j 的综合权值, λ 为区间 $(0,1)$ 之间的常数,信任 QoS 指标 $Q_{i,j}^{\text{Credit}}$ 可以用上节给出的服务工作流信任度计算方法求出,性能 QoS 指标 $Q_{i,j}^{\text{other}}$ 由用户根据自身需求来设定.

经过以上的归一化处理后,可以将图 2 按服务工作流的逻辑关系转化为图 3 所示的多段图.转化的原则如下:如果两个节点按工作流服务匹配原则有“上下游”关系,则在多段图中形成“上下段”的关系,并用连接线关联,而将计算的归一化 QoS 指标 W 标记为这两个节点间连接的权值,用 $W(i,j)$ 表示,如 $W(2,5)$ 表示节点 2 和节点 5 间的权值;同时在整个多段图的最前加一个虚拟的起始节点 Start,指向第一段的所有节点,并在最后增加一个虚拟的 End 节点作为汇节点;与这两个节点相连接的权值为足够大的一个值,超过用户的 QoS 需求.



经过如上的处理后,基于信任的 QoS 调度是在图 3 中找到一条从起点到终点的相关路径,在满足工作流的业务逻辑和用户的个性化要求基础上,权值最大者即为“最佳”的服务工作流执行路径。

算法 1. Credit_schedule(E, k, n, P).

// E 是图中的边集, $W[i, j]$ 是边 $\langle i, j \rangle$ 的权值, $P[1..k]$

返回组合路径,对每一个节点都编号, k 是工作流路径长度

```

1.  create mutil_paragraph  //创建多段图
2.  float QoS[n];
3.  int D[n-1], P[k], r, j, k, n;
4.  QoS[1]=0;
5.  for (j=2; j<=n; j++)
        //对于第二段后的每个节点做类似于
        //多段图的计算最优路径
6.  { 设  $\forall r, \langle r, j \rangle \in E$  且使  $QoS[r] + W[r, j]$  取最大
    值;
7.      QoS[j]=QoS[r]+W[r, j];
8.      D[j]=r;
9.  }
10. P[1]=1; P[k]=n;
11. for (j=k-1; j>=2; j--)
        //将找出的最佳路径上的节点编号存在 P[1..k]中
12.  P[j]=D(P[j+1]);
13. end Credit_schedule;
```

服务工作流作为互联网中服务组合的常用方法,迫切需要调度算法将任务分配到可信节点上执行,同时保证被选节点间的通信速度较快,从而减少应用任务执行时间,降低应用任务执行失败概率.本调度算法的运行空间只在与此工作流相关的虚拟计算环境中运行,而不是全部的空间范围,大大减少了运算的时间复杂度。

性质 1. 调度算法具有相对于节点数及边数线性规模的时间复杂度。

证明. 算法执行的代价主要在步 5~8 步循环及 10~12 步循环.对于 5~8 步的循环,需要对工作流图中的每一个节点,计算该节点每一条边的 $QoS[j]$,然后找出最小的 $QoS[j]$,这样每个节点和每条边都需且只需计算一次,这样其复杂度为 $\Theta(n+e)$;10~12 步的循环主要是给出其最佳路径,易知其时间复杂度为工作流路径长度为 $\Theta(K)$.一般来说 $\Theta(K)$ 远远小于 $\Theta(n+e)$ 多段图算法类比,故算法总的时间复杂度为 $\Theta(n+e)$,其中 n 为节点数, e 为边数. 证毕。

5 实验及结果分析

为了更深入地阐述所提出的 Web 服务工作流中引入信任关系的意义和作用,本文将通过实验验证所提出的调度算法对服务工作流执行效率的影响,来证明该方法的可行性。

5.1 实验环境设置

实验运行在本课题组前期开发的 Web 服务工作流调度性能评价系统 SWES 中,SWES 系统主要功能是将广域网中的 Web 服务组织成一个有序的虚拟组织,提供给用户一个屏蔽了物理网络差异的基础虚拟服务平台. SWES 原型系统主要包括以下 5 个模块:系统入口模块、SRS 注册管理模块、WSSP 生成模块、路径协商模块、执行环境模块^[19]。

在系统 SWES 中,采用了 Java 编程开发的组件 WorkflowGen 构造网络拓扑图,该图共设计有 1000 个服务节点,协作实体编号为 1~1000,节点间物理连接度的平均值设为 3,每个节点的边数(连接度)采用 random(1~6)之间的随机函数产生;第 i 个节点其相邻节点的确定:假设 random(1~6)后的连接度为 m ,然后从 random($i-km, i+km$)号节点中随机选取 m 个节点作为其邻居;该拓扑图符合随机网络实际,且易编程实现。

拓扑图产生后,设计了组件 TaskGen 在网络节点上布置服务,以使用户申请时为其提供服务.一个完整的服务工作流需由多个 Web 服务组成,因此产生的服务要能构成很多不同模式的工作流,以满足用户的需要.鉴于目前没有相关服务工作流的标准平台和标准测试数据集,本文采用模拟服务数据作为测试用例.首先产生 50 种不同的工作流模板,然后根据此模板产生所需的各个服务,其产生要素包括模板类别,输入、出接口,功能要求,服务布置所在的网络节点号(从 1~1000 中选取)等。

5.2 试验结果分析

本文采用图 1 所示的服务工作流实例开展实验,实验目的主要验证本文提出的基于信任的 QoS 调度算法对服务工作流执行效率的影响,主要从工作流执行的成功率和执行时间等性能指标进行验证。

第 1 部分实验. 验证该算法对服务工作流执行成功率的影响。

实验 1. 首先通过将服务动态产生的同时从系统中“死亡”相同数量的服务,变化的数量占总服

务数据的比例(5%和10%),这种动态变化的场景与现实互联网的情况相同,许多服务因主观因素或者客观原因消亡,图4可以看出在服务动态产生与消失比较频繁的情况下,本文提出的调度算法具有较大优势,执行成功率无论在服务变化率5%还是10%都比一般算法强很多。

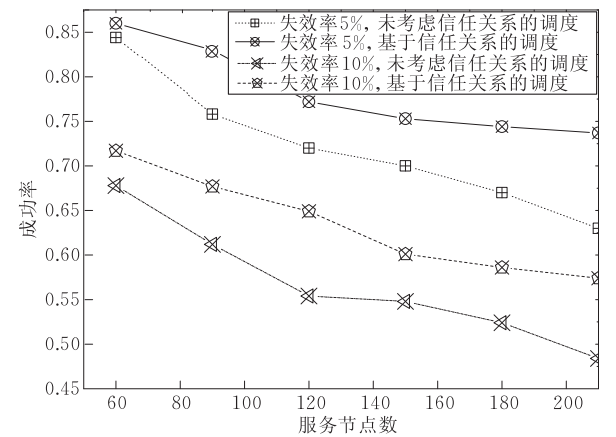


图4 动态服务下成功率比较

实验2. 对比两类算法随着时间增长的调度成功率。从图5所示可知在算法刚开始运行时,由于信任关系还未建立,因此基于信任的调度成功率并无优势,但是随着时间的增长,信任关系的逐步建立,成功率也随之上升,而未考虑信任关系的调度无此特性。

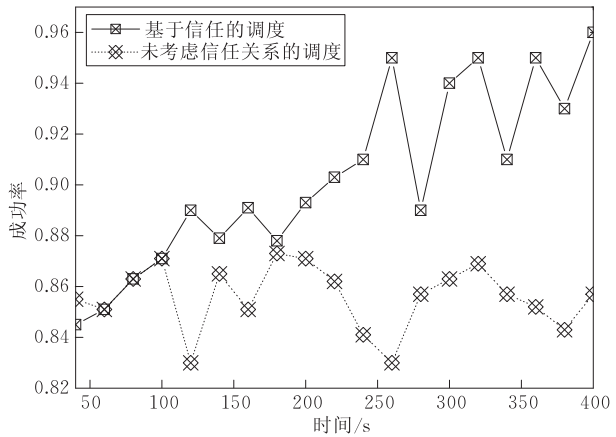


图5 随时间变化的成功率比较

实验3. 图6清楚地显示了在不同信任QoS权重 λ 下对调度成功率的影响。从图中可以看出在无信任QoS的条件下,调度成功率随时间增长变化上下波动,而整体成功率基本不变;而考虑了QoS指标的调度随着时间增长调度成功率不断上升,最后稳定在一定水平,而且QoS权重的 λ 越高调度成功率动态性越强;可以认为在网络变化的情况下,信

任QoS调度中,一些信任度较高的节点失效产生的影响较大,而重新建立信任路径需要一定时间,故动态性较强。

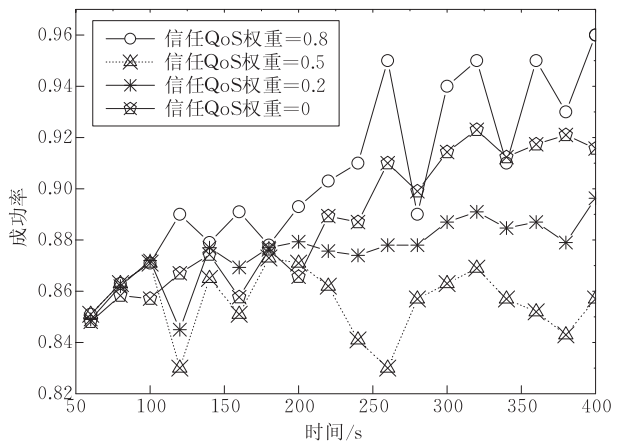


图6 信任QoS权重的影响

实验4. 本实验主要验证执行路径的偏好关系与主观恶意节点增加对调度算法的影响。

图7表示了基于信任的调度算法与一般算法每组给出200个工作流请求,这些工作流请求所执行的路径占整个所能执行路径的比例。结果表明基于信任模型的工作流调度机制由于记忆了成功的路径,因此执行路径的选择相对集中在信任执行的路径中。

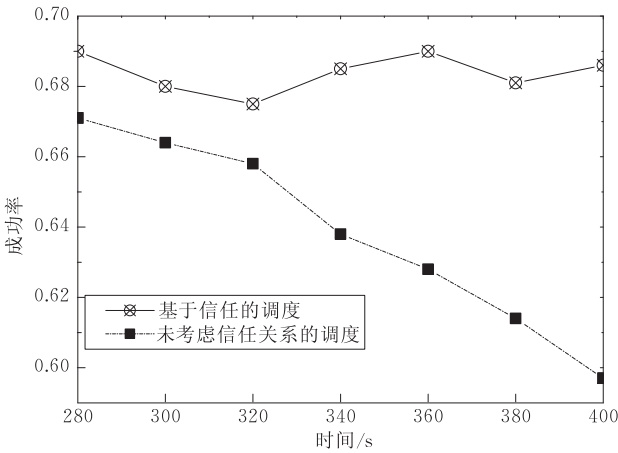


图7 不同调度算法的执行路径

从图8可以看出,随着恶意节点的增加,虽然基于信任的调度算法与一般算法调度的成功率都有下降,但一般算法的下降幅度比信任调度算法要大很多,且信任QoS的调度算法并不随恶意节点增加而降低成功率,会慢慢稳定在一定水平附近,这与图8所反映出的实质相同,表明基于信任的QoS调度能记忆成功路径,执行路径的选择集中在已成功执行的路径中。

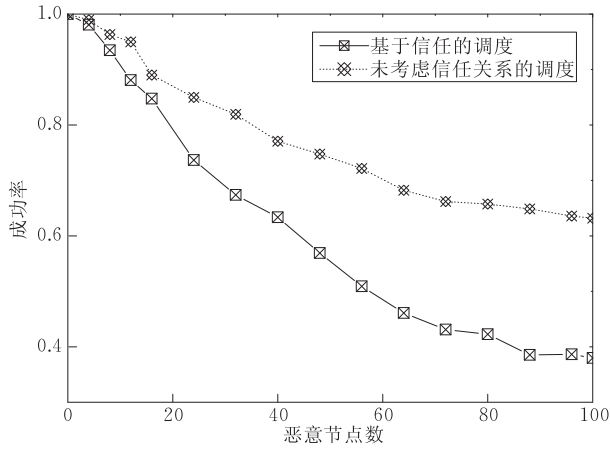


图 8 恶意节点的影响

第 2 部分实验. 从一般状态、网络中含有一定恶意服务节点的状态这两种情况来验证基于信任关系的 QoS 调度算法对服务工作流执行时间的影响。

实验 5. 其目的是为了比较在一般状态下两种调度算法对服务工作流执行时间的影响，服务工作流执行时间可以用服务跳数(hop)来度量^[12]。从图 9 可以看出在服务工作流执行初期，由于调度算法要寻找可靠性“最佳”的执行路径，需要花费一定时间，因而在开始阶段，基于信任关系的 QoS 调度算法比一般算法在工作流执行时间的开销上要大；但随着执行的开展，在可靠性“最佳”的执行路径获得后，基于信任关系的 QoS 调度算法并不随着服务节点的增加而迅速增加执行时间，表明该调度算法能记忆执行成功的路径，执行过程会选择可靠性“最佳”的路径执行，这与图 8 表现出的执行效果相同。

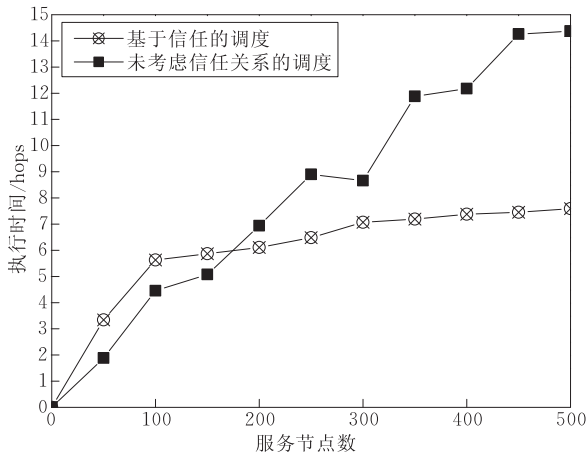


图 9 工作流执行时间比较

实验 6. 其目的是为了比较网络中含有 5%或 10%恶意服务节点的场景下两种调度算法对服务工作流执行时间的影响，图 10 表明无论恶意服务节点占 5%还是占 10%的场景下，基于信任关系的 QoS

调度算法在工作流执行时间上的变化趋势和图 9 相同，随着执行的开展，工作流的执行时间无论在恶意服务节点数占 5%还是 10%的场景都比一般算法要强，再次证明该调度算法能记忆执行成功的路径，提高工作流执行的可靠性并降低执行的时间。

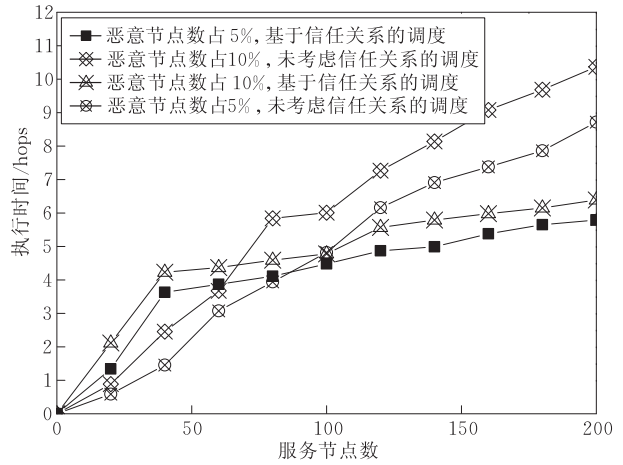


图 10 恶意节点下执行时间的比较

由以上两部分实验表明本文提出的基于信任关系的 QoS 调度算法无论在服务工作流执行的成功率还是在执行时间上和一般算法相比都有较大的优势，能较好地满足用户对于服务工作流的需求。

6 结束语

将信任机制与服务调度机制有效融合是服务工作流中需要解决的难题之一，本文在前期工作提出一种服务组合模型的基础上，通过在工作流中引入信任机制，量化服务工作流调度不同信任关系下信任效益函数，提出了一种基于信任的服务工作流调度方法。该方法同时兼顾网络服务的性能 QoS 与信任 QoS 要求，实验结果表明基于信任的工作流调度模型及其算法能够有效地提高工作流的执行成功率，同时具有更优的工作流执行时间，在性能 QoS 与信任 QoS 两个方面均能够取得较好的效果。

我们将来的工作主要集中于对算法的性能和效果做更深入的分析 and 改进，以更好地改进工作流的执行效率，同时考虑研究服务之间的数据依赖关系及服务的可替换性对服务工作流执行效率的影响。

参 考 文 献

- [1] Alonso G, Casati F, Kuno H, Machiraju V. Web Service Concepts, Architectures and Applications. Berlin: Springer, 2004

- [2] Ran S P. A model for Web services discovery with QoS. ACM SIGecom Exchanges, 2003, 4(1): 1-10
- [3] Weng C, Lu X. Heuristic scheduling for bag-of-tasks applications in combination with QoS in the computational grid. Future Generation Computer Systems, 2005, 21(2): 271-280
- [4] Yu Jia, Buyya Rajkumar, Tham Chen Khong. QoS-based scheduling of workflow applications on service grids//Proceedings of the 1st IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing. Melbourne, Australia, 2005: 1-9
- [5] Azzedin F, Maheswaran M. Integrating trust into grid resource management systems//Proceedings of the 2002 International Conference on Parallel Processing. Vancouver, British Columbia, Canada, 2002: 47-54
- [6] Song S, Hwang K, Kwork Y K. Trusted Grid computing with security binding and trust integration. Journal of Grid Computing, 2005, 3(1): 53-73
- [7] Li Jian-Xin, Huai Jin-Peng. COTN: A contract-based trust negotiation system. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(7): 1290-1301(in Chinese)
(李建欣, 怀进鹏. COTN: 基于契约的信任协商系统. 计算机学报, 2006, 29(7): 1290-1301)
- [8] Yuan Lu-Lai, Zeng Guo-Sun et al. Dynamic level scheduling based on trust model in grid computing. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(7): 1217-1224(in Chinese)
(袁禄来, 曾国荪等. 网格环境下基于信任模型的动态级调度. 计算机学报, 2006, 29(7): 1217-1224)
- [9] Mui L. Computational models of trust and reputation: Agents, evolutionary games, and social networks [Ph. D. dissertation]. Massachusetts Institute of Technology, MA, USA, 2003
- [10] Li K, He Y, Liu X. Security-driven scheduling algorithms based on eigentrust in grid//Proceedings of the 6th International Conference of Parallel and Distributed Computing Applications and Technologies. Denver, USA, 2005: 1068-1072
- [11] Zhang Wei-Zhe, Fang Bin-Xing et al. A trust-QoS enhanced grid service scheduling. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(7): 1157-1166(in Chinese)
(张伟哲, 方滨兴等. 基于信任 QoS 增强的网格服务调度算法. 计算机学报, 2006, 29(7): 1157-1166)
- [12] Hu Chun-Hua, Wu Min, Liu Guo-Ping, Xu De-Zhi. An approach to constructing Web service workflow based on business spanning graph. Journal of Software, 2007, 18(8), 1870-1882(in Chinese)
(胡春华, 吴敏, 刘国平, 徐德智. 一种基于业务生成图的 Web 服务 workflow 构造方法. 软件学报, 2007, 18(8): 1870-1882)
- [13] Dempster A P. Upper and lower probability induced by a multi-valued mapping. Annals Mathematical Statistics, 1967, 38(2): 325-339
- [14] Sentz K. Combination of evidence in dempster-shafer theory. Sandia National Laboratories, Albuquerque, USA; Technical Report SAND2002- 0835, 2002
- [15] Cai Zi-Xing, Xu Guang-You. Artificial Intelligence: Principles and Applications. Beijing: Tsinghua University Press, 2004(in Chinese)
(蔡自兴, 徐光祐. 人工智能及其应用. 北京: 清华大学出版社, 2004)
- [16] Josang A. An algebra for assessing trust in certificate chains//Proceedings of the Internet Society Symposium on Network and Distributed System Security. San Diego, 1999: 1-10
- [17] Wang Yuan, Lu Jian, Xu Feng, Zhang Lin. A trust measurement and evolution model for Internetwork. Journal of Software, 2006, 17(4): 682-690(in Chinese)
(王远, 吕建, 徐锋, 张林. 一个适用于网构软件的信任度量及演化模型. 软件学报, 2006, 17(4): 682-690)
- [18] Zhu Jun-Mao, Yang Shou-Bao, Fan Jian-Ping. A grid & P2P trust model based on recommendation evidence reasoning. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(5): 797-803(in Chinese)
(朱峻茂, 杨寿保, 樊建平. Grid 与 P2P 混合计算环境下基于推荐证据推理的信任模型. 计算机研究与发展, 2005, 42(5): 797-803)
- [19] Hu Chun-Hua, Wu Min, Xie Qing, Wang Jian-ming. SWES: Service combination transfer performance evaluation system based on QoS. Journal of Central South University: Natural Science, 2007, 38(5): 962-969(in Chinese)
(胡春华, 吴敏, 谢勤, 王建明. SWES: 基于 QoS 的服务工作流调度性能评价系统. 中南大学学报(自然科学版), 2007, 38(5): 962-969)



HU Chun-Hua, born in 1973, Ph.D., associate professor. His research interests include Web service workflow and cross-enterprises collaboration manufacture.

WU Min, born in 1963, Ph.D., professor, Ph.D. supervisor. His research interests include computer network and distributed computing.

LIU Guo-Ping, born in 1962, Ph.D., professor, Ph.D. supervisor. His research interests include intelligent network and network control.

Background

The Web service rapidly develops as a new style of Web application pattern lately. In practice, one Web service can only provide a single function, and it can't satisfy the requirement of the complex application. So it has become a new research focus that how to integrate the function of single service forms a new powerful service in order to satisfy different users' application requirements. The Web service workflow is an important means that make the service resources in the Internet cooperate with each other. Multi-services in service workflow will be assembled into a much more granularity increment service or system, but trust mechanism is largely ignored in existing scheduling algorithms of service workflow at present. The influence of the uncertain or deceiving service nodes on the Web service workflow scheduling performance is generally fatal, so the problems of QoS scheduling can not be completely solved by the performance-QoS.

The paper addresses a novel algorithm of service work-

flow scheduling based on truth relationship in Web service workflow, and the trust value is computed by D-S theory. At the same time, the workflow path-level trust concept and the trust transfer are introduced, and the trust relationship is taken as an important parameter for QoS scheduling. The algorithm satisfies both the requirement of workflow performance-QoS and the requirement of trust-QoS. This work is partially supported by the Natural Science Foundation of China for Distinguished Young Scholar under grant No. 60425310, the National High Technology Research and Development Program (863 Program) of China under grant No. 2006AA04Z172, the National Natural Science Foundation of China under grant No. 60674016, the China Postdoctoral Science Foundation under grant No. 20080440988 and the Natural Science Foundation of Hunan under grant No. 05JJ40103.