

一种基于广义随机 Petri 网的 Web 服务组合性能预测模型

朱俊¹ 郭长国^{1,2} 吴泉源¹

(国防科技大学计算机学院 长沙 410073)¹ (中国电子设备系统工程公司 北京 100039)²

摘要 Web 服务交互消息受到不可预知的网络环境的影响,因特网环境中的个体 Web 服务的性能表现与访问者的地域位置有关。于是,服务组合的性能则更加容易受到网络环境因素的影响。同时,服务组合的性能还会受到服务组合流程中不同的分支执行概率的影响。在这种情况下,服务组合建模只考虑组合本身,而不考虑网络环境因素和分支执行概率,这将会对模型的预测结果造成较大的偏差。为了能够真实地评估服务交互行为、网络环境与分支执行概率之间的关系,提出了一种基于广义随机 Petri 网的 Web 服务组合性能预测模型,该模型不仅引入了伙伴服务性能方面的因素,而且充分考虑了网络环境因素和分支执行概率,从而能够对被建模系统进行定性和定量分析,进而指导服务组合性能优化。

关键词 Web 服务,性能预测模型,广义随机 Petri 网,性能优化

中图法分类号 TP311 **文献标识码** A

GSPN Based Web Service Composition Performance Prediction Model

ZHU Jun¹ GUO Chang-guo^{1,2} WU Quan-yuan¹

(School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)¹

(China Electric Equipment and Systems Engineering Ltd., Beijing 100039, China)²

Abstract The performance of individual Web service is related to the users' locations, because service interaction messages can be easily influenced by Internet environment. As a result, service composition, which is implemented by coordinating interactions between different Web services, is also greatly impacted by Internet. However, current modeling methods of service composition focus on composition itself without the impact of Internet and branch execution probability. In order to describe the relationship between service interactions, Internet environment and branch execution probability, this paper introduced a Web services performance prediction model based on generalized stochastic Petri nets. The model takes not only the situations of individual Web services but also the factors of Internet environment and branch execution probability into considerations. The model is used to evaluate and optimize the performance of service compositions.

Keywords Web service, Performance prediction model, Generalized stochastic petri nets, Performance optimization

1 引言

服务组合通过协调多个 Web 服务之间的交互,为用户提供更为强大的服务功能,并且有效地加快了系统开发的速度,从本质上实现了更加充分利用共享的网络资源的目标。而服务组合的本质就是帮助不同功能的个体 Web 服务实现相互之间的消息交互。

然而,在因特网环境下,个体 Web 服务的性能表现都与访问者的地域位置有很大关系^[1],其本质原因是 Web 服务交互消息的传输受到了不可预知的网络环境的影响。由于实际部署的组合服务应用可能位于不同的地域位置,使得组合服务也会因地域位置的不同而在性能方面表现出较大的差异。这种地域差异影响组合服务性能表现的本质就是受到网络环

境因素的影响。另一方面,服务组合的性能也会受到服务组合流程中不同分支执行概率的影响。在这种情况下,Web 服务组合性能预测和优化方法只考虑服务组合本身及其交互行为,而不考虑网络环境和组合流程的分支执行概率的影响,都会对模型的预测和评估结果造成较大的偏差。

为了解决这类问题,本文聚焦于 Web 服务交互行为、网络环境因素和流程分支执行概率之间的关系,为服务组合建立一种基于广义随机 Petri 网 (Generalized Stochastic Petri Nets, GSPN)^[2] 的 Web 服务组合性能预测模型 (Web Service Composition Performance Prediction Model, WS-CP2M),以此来精确地描述三者之间的紧密关系。该模型能够对服务组合实例 (包括伙伴服务的选择、应用部署位置的选择等) 进行定性和定量化的评估,从而预测网络环境因素和分支执行概率

到稿日期:2010-09-07 返修日期:2010-12-07 本文受国家自然科学基金项目(90818028),国家 863 计划项目(2007AA010301),“核高基”重大专项(2009ZX01043-002-004)资助。

朱俊(1981—),男,博士生,主要研究领域为分布式计算、可信软件, E-mail: mail_zhujun@yahoo.com.cn; 郭长国(1973—),男,博士,副教授,主要研究领域为分布式计算、中间件; 吴泉源(1942—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为分布式计算、人工智能和专家系统等。

对组合服务性能的影响,并指导 Web 服务组合并优化其性能。本文结合一个典型服务组合实例,对 Web 服务组合性能优化方法进行了详细阐述。

2 相关工作

Web 服务组合的建模方法得到了很多关注。目前,比较典型的建模方法有状态机、进程代数和 Petri 网等。状态机^[3]被用于映射服务组合流程规约到对应的形式化描述。相比于 Petri 网的建模方法,状态机对服务间交互行为的描述往往显得繁琐而不够紧凑。进程代数,作为一种形式化方法,也被用于分析服务组合规约的若干属性,见文献[4],但是这种表示方法没有 Petri 网直观。

许多服务组合及其交互行为的建模方法都依赖于 Petri 网。文献[5]分别给出了将服务组合规约映射到 P/T 网的方法。映射后的 Petri 网模型被用于检测活动不可达、消息冲突等问题。文献[6]给出了 BPEL 基本结构到一类有色 Petri 网的映射规则定义,用以帮助用户理解服务组合中的行为。文献[9]提出了一种层次服务组合网模型,以对服务中故障进行建模分析和实时诊断。然而,P/T 网和有色 Petri 网都只能对模型进行结构分析,例如模型的有界性、活性等,缺乏对服务交互行为的量化分析,尤其是对性能等的预测。

而广义随机 Petri 网作为一种定性和定量分析的形式化方法,在描述服务组合及其交互行为方面有一定的优势。文献[7]把 BPEL 规约映射成 GSPN 模型,用于对组合服务的性能进行评估。文献[10]提出了一种用 GSPN 对服务组合 OWL-S 过程模型进行建模和验证的方法,并给出了从 OWL-S 模型到 GSPN 的映射规则。这些建模方法都没有考虑实际网络环境以及伙伴服务对性能方面因素的影响,因此是不够完善的。

于是,本文提出一种 Web 服务组合性能预测 GSPN 模型,它充分考虑网络环境因素和分支执行概率的影响,并通过定性和定量分析得到更为可靠的评估结果。

3 服务组合实例

3.1 实例介绍

本文选用一个典型的服务组合实例——“房屋贷款”(House Loan Broker, HLB)作为案例研究,以便更好地展现本文提出的服务组合性能优化方法的可用性和显著特点。

实例 HLB 具有典型的交互性特征:需要与 6 个伙伴 Web 服务(即 HouseLoanAgency (HsLA), Bank0 (Bk0), Bank1 (Bk1), Bank2 (Bk2), Bank3 (Bk3) 和 Client)发生交互,并协调这些服务之间的交互操作;整个过程涉及 12 种不同的交互行为,如 1: RequesHLB, 2: RequestHouseNum, 3: Call-backHouseNum, 4. 1: InvokeBank0 等。

3.2 组合实例的伙伴服务调用性能

在本文中,伙伴服务的调用性能主要采用服务的平均往返时间来体现,如表 1 所列。为了清晰地展现模型的性能预测能力,表中的伙伴服务性能数据都为假设。然而,该性能预测模型在未来的实际应用中,需要将该数据集用实际网络环境中真实测得的数据所替代,从而使得模型预测的结果能反映实际网络环境因素对组合服务性能的影响。

表 1 各个伙伴服务的平均往返时间(ms)

地域位置	服务名称				
	HsLA	Bank0	Bank1	Bank2	Bank3
Place 1	312	327	343	296	339
Place 2	192	303	297	261	286
Place 3	328	257	228	197	236
Place 4	197	184	215	163	198
Place 5	215	199	223	217	235

表 1 数据能够充分体现如下特征:(1)各个伙伴服务由于本身业务逻辑、运行服务器以及网络环境因素等差异,呈现出较大的差别(表 1 横行数据体现)。(2)如文献[1]得出的结论,同一个伙伴服务,由于网络环境的差异,用户从不同的地域位置访问,该伙伴服务将展现出不同的性能(表 1 竖列数据体现)。

4 Web 服务组合性能预测 GSPN 模型

4.1 Web 服务组合流程的 GSPN 模型

定义 1(广义随机 Petri 网) 广义随机 Petri 网采用 8 元组 $N=(P, T, \Pi, I, O, H, M_0, W)$ 表示^[2]。其中,

P 为有穷的库所集合; T 为有穷的变迁集,且和 P 不相交,即 $P \cap T = \emptyset$ (变迁分为两类:一类是实施需要一定时间的时间变迁 T_t ;另一类是实施时间可以忽略不计的瞬时变迁 T_i ;即 $T = T_t \cup T_i$ 且 $T_t \cap T_i = \emptyset$); $I, O, H: T \rightarrow N(N = P \cup T)$ 分别为输入弧、输出弧和禁止弧; $M_0: P \rightarrow N$ 为初始标识; $\Pi: T \rightarrow N$ 为优先级函数(时间变迁拥有较低的优先级而瞬时变迁拥有较高的优先级。于是瞬时变迁的优先级总高于时间变迁); $W: T \rightarrow \mathbb{R}^+$ 为变迁 T 到正实数集上映射函数。而若 $t \in T$,则 $w(t)$ 为发射延迟时间,服从负指数分布,当变迁 t 为时间变迁($t \in T_t$)时,发射权重,当变迁 t 为时间变迁($t \in T_i$)时。

在本文中,表达式 $\cdot p \subseteq T$ (或者 $\cdot t \subseteq P$) 表示库所 p (或者变迁 t) 的前继节点集合;而 $p \cdot \subseteq T$ (或者 $t \cdot \subseteq P$) 表示库所 p (或者变迁 t) 的后继节点集合。

定义 2(Web 服务组合流程 GSPN 模型) 用一类广义随机 Petri 网 $N_{CS}=(P_{CS}, T, \Pi, I_{CS}, O_{CS}, H, M_0, W)$ 来表示一个 Web 服务组合实例。其中,

(1) $P_{CS} = P_I \cup P_M$ 且 $P_I \cap P_M = \emptyset$, 其中 P_I 是内部的库所,而 P_M 为各个服务进程中交互消息有关的消息库所(P_I 代表服务或其组合内部的控制流状态,而 P_M 代表服务之间进行消息交互或服务交互行为的状态表示)。

(2) $I_{CS} = I_M \cup I_I$ 且 $I_M \cap I_I = \emptyset$, 其中 I_I 为内部普通弧 $I_I \subseteq (P_I \times T)$, 而 I_M 是与消息库所 P_M 相连接的接收消息弧 $I_M \subseteq (P_M \times T)$ 。 $O_{CS} = O_M \cup O_I$ 且 $O_M \cap O_I = \emptyset$, 其中 O_I 为内部普通弧 $O_I \subseteq (T \times P_I)$, 而 O_M 是与消息库所 P_M 相连接的发送消息弧 $O_M \subseteq (T \times P_M)$ 。

Web 服务组合流程的 GSPN 模型的建立部分重用了文献[8]提出的映射方法,并在此基础上对 GSPN 模型中参数 Π 和权重函数 W 进行限定。

4.2 伙伴服务简化 GSPN 模型

服务组合对其伙伴服务的调用是透明的,一般通过接收流程调用,处理完毕后返回处理结果。于是,建立如下伙伴服务简化 GSPN 模型。该模型能够清晰地表达伙伴服务的基本交互行为、服务执行以及网络环境因素的影响。

规则 1(伙伴服务简化 GSPN 模型的映射规则) 采用一

种特殊的 GSPN 模型 $N_{AS} = (P_{AS}, T, \Pi, I_{AS}, O_{AS}, H, M_0, W)$ 来表示伙伴服务的交互行为和服务调用执行状态。该伙伴服务简化 GSPN 模型具有如图 1 所示的基本结构。

其中, MSG_S1_IN 代表伙伴服务接收到的服务请求消息, 而 MSG_S2_OUT 为伙伴服务发出的结果返回消息。虚线框内的 GSPN 模型代表伙伴服务基本的状态变迁过程。时间变迁 T_ASRtt 代表该伙伴服务返回服务调用结果需要一定的执行时间, 其权值 $\lambda_1 = 1/t_{avg_RTT}$ 代表了调用伙伴服务的平均往返速率。

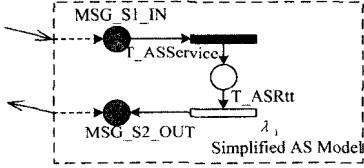


图 1 伙伴服务简化 GSPN 模型 N_{AS} 的映射规则

4.3 Web 服务组合性能预测 GSPN 模型

定义 3(GSPN 模型的串联组合连接子 $\cup_C$) 给定两个 GSPN 模型 $N_1 = (P_1, T_1, \Pi_1, I_1, O_1, H_1, M_0^1, W_1)$ 和 $N_2 = (P_2, T_2, \Pi_2, I_2, O_2, H_2, M_0^2, W_2)$, 且在规约中 N_2 是 N_1 的后继, 则模型 N_1 和模型 N_2 的组合模型 $N = (P, T, \Pi, I, O, H, M_0, W, L) = N_1 \cup_C N_2$ 满足如下性质。

(1) 假设模型 N_1 和模型 N_2 中的首库所和尾库所分别为: p_{1f}, p_{1l} 和 p_{2f}, p_{2l} 。其中, $p_{1f} \in P_1, p_{1l} \in P_1, p_{2f} \in P_2$ 和 $p_{2l} \in P_2$, 那么 $P = P_1 \cup P_2 \setminus p_{1l}$ (通过合并当前模式的首库所和后继模式的首库所来实现模式组合);

(2) $T = T_1 \cup T_2$;

(3) 需要删除的输出弧集合 $O_{del} = (\cdot p_{1l} \times \{p_{1l}\})$, 增加的输入弧集合 $I_{add} = (\cdot p_{1l} \times \{p_{2f}\})$, 则组合后的弧为 $I = I_1 \cup I_2 \cup I_{add}, O = O_1 \cup O_2 \setminus O_{del}, H = H_1 \cup H_2$ (更改库所的输入弧的目的库所为);

(4) $\Pi = \Pi_1 \cup \Pi_2, M_0 = M_0^1 \cup M_0^2, W = W_1 \cup W_2$ 。

Web 服务组合的性能预测模型 WS-CP2M 为根据服务组合规约, 将以上两类模型串联组合后生成。

定义 4(Web 服务组合的性能预测 GSPN 模型) 采用广义随机 Petri 网 $N_{WS-CP2M} = (P, T, \Pi, I, O, H, M_0, W)$ 表示 $N_{WS-CP2M} = N_{CS} \cup N_{AS1} \cup C \cup N_{AS2} \cup C \dots \cup C N_{ASn}$, 其中 N_{CS} 为 Web 组合流程 GSPN 模型; $N_{AS1} N_{AS2} \dots N_{ASn}$ 为服务交互过程中涉及到的伙伴服务所对应的简化 GSPN 模型。

4.4 性能预测模型的参数设置

4.4.1 伙伴服务性能相关的参数

伙伴服务性能用实际测得的伙伴服务平均往返时间来体现。这个指标反映了若干方面的特征: (1) 反映了被调用的伙伴服务的执行速率。(2) 体现了网络环境因素对交互消息传输的影响; 较差的网络环境将使得交互消息发生延迟, 导致交互频率降低。

需要设置的与伙伴服务性能相关的模型参数为图 1 中时间变迁 T_ASRtt 的权值 λ_1 。这些类似的模型参数都与实际环境中测得的个体伙伴服务的性能表现直接相关, 反映了实际的网络环境因素。于是, 该模型参数与相应个体服务 AS_i 的平均往返时间这一性能指标之间的映射关系满足如下规则。

规则 2(伙伴服务性能相关的模型参数设置规则) 与伙

伴服务 AS_i 平均往返时间相关的时间变迁 T_ASRtt 的权值 λ_1 满足: $\lambda_1 = 1000/t_{avg_RTT_i}$, 其中 $t_{avg_RTT_i}$ 为调用伙伴服务 AS_i 的平均往返时间(ms)。

4.4.2 分支执行概率

不同的分支执行概率同样会对组合服务的性能表现产生影响。而与分支执行相关的模型参数与相应分支的执行概率之间的映射关系满足如下规则。

规则 3(分支执行概率相关的模型参数设置规则) 假设分支结构共有 n 条分支, 且每条分支流程执行的概率为 $r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_n (i \in \mathbb{N})$, 则对应的瞬时变迁的权值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_n$, 满足: $\lambda_i = r_i \times 100 (i \in \mathbb{N} \text{ 且 } 1 \leq i \leq n)$ 。

5 实例模型与结构分析

5.1 生成的实例模型

通过运用第 4 节中的模型定义以及响应的转换规则, 可以将 HLB 实例映射成对应的 Web 服务组合性能预测 GSPN 模型 N_{HLB} , 如图 2 所示。该模型能够对 HLB 组合服务与其他伙伴个体服务之间的交互行为关系进行较为精确的形式化描述。经过统计, 该实例模型有 27 个库所, 消息库所 12 个, 变迁 24 个, 瞬时变迁 18 个, 时间变迁 6 个以及 60 条弧。该模型规模小, 结构紧凑, 状态空间较小, 从而避免了状态空间爆炸。

模型消息库所 P_M 都用灰色圆圈标识, 以表示出所有相关的 Web 服务交互行为。用虚线框 AS_{HLA} 和 AS_{Bk3} 标示的部分模型分别对应于伙伴服务 $HsLA$ 和 $Bk3$ 的简化 GSPN 模型。

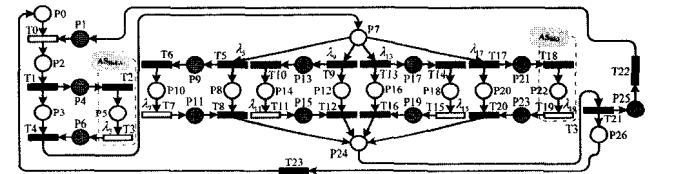


图 2 实例 HLB 对应的 Web 服务性能预测 GSPN 模型 N_{HLB}

5.2 模型结构分析

图 3 是该模型的可达图 $RG(N_{HLB}, M_0)$ 。同时, 该模型总共有 22 个可达状态, 其中有 6 个实存状态, 分别为 $S_0, S_3, S_{10}, S_{11}, S_{12}$ 和 S_{13} (用灰色椭圆表示), 其他的状态都是消失状态 (用白色椭圆表示)。模型的实存状态对应于马尔科夫链的状态。分别用 $M_0, M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$ 来表示实存状态, 即 $M_0 = \{P_0, P_1\}, M_1 = \{P_3, P_5\}, M_2 = \{P_8, P_{10}\}, M_3 = \{P_{12}, P_{14}\}, M_4 = \{P_{16}, P_{18}\}$ 和 $M_5 = \{P_{20}, P_{22}\}$, 则模型的实存状态集为 $M = \{M_0, M_1, M_2, M_3, M_4, M_5\}$ 。

通过对模型结构进行定性分析, 得出该实例模型 N_{HLB} 是有界、安全和无死锁的。

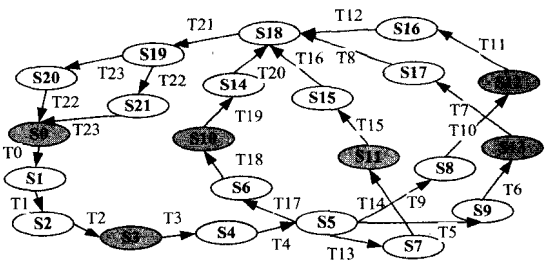


图 3 实例模型 N_{HLB} 的可达图 $RG(N_{HLB}, M_0)$

6 模型性能预测与组合方案性能优化

6.1 实例模型的参数设置

实例模型 N_{HLB} 需要进行参数设置变迁的有 $T_0, T_3, T_5, T_7, T_9, T_{11}, T_{13}, T_{15}, T_{17}, T_{19}$ 。其中变迁 $T_3, T_7, T_{11}, T_{15}, T_{19}$ 的权值与伙伴服务的平均往返时间相关,而其他参数与分支执行概率相关。于是,设 $\lambda_i (i \in \mathbb{N})$ 为变迁所对应的权值。表 2 为实例模型的参数设置。

表 2 实例模型的参数设置

地域位置	参数名称					
	λ_{19}	λ_0	λ_3	λ_7	λ_{11}	λ_{15}
Place 1		3.21	3.06	2.92	3.38	2.95
Place 2		5.21	3.30	3.37	3.83	3.49
Place 3	100	3.05	3.39	4.39	5.08	4.24
Place 4		5.08	5.43	4.65	6.13	5.05
Place 5		4.65	5.03	4.48	4.61	4.26

假设服务组合实例进行初始化需要时间 10ms,设置变迁权值 $\lambda_0=100$ 。另根据规则 5,设置变迁权值 $\lambda_3, \lambda_7, \lambda_{11}, \lambda_{15}, \lambda_{19}$ 。同时,假设拥有 0,1,2 以及 2 套房以上的客户比例是 1:1:1:1,则根据规则 6,将分支执行概率相关的变迁都设置成默认值,即 $\lambda_5=\lambda_9=\lambda_{13}=\lambda_{17}=1$ 。

6.2 模型性能预测

6.2.1 组合实例部署位置对性能的影响

通过对建立的实例模型进行量化分析得到如图 4 的模型性能预测结果。图 4 是在 HLB 实例位于不同地域位置时的系统吞吐率变化曲线。图中的横坐标为服务请求频率(即服务请求平均间隔时间的倒数);纵坐标为系统吞吐率,表示组合服务系统的性能;不同的曲线代表 HLB 位于不同地域位置时的性能表现。

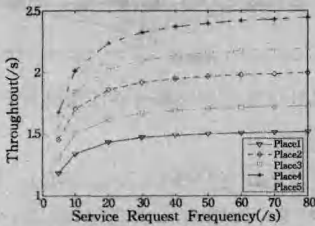


图 4 HLB 实例的吞吐率(不同部署位置)

该图对应实例 HLB 部署在 5 个不同的位置时的性能预测,揭示了如下基本结论:(1)在相同的服务请求频率下,HLB 组合服务的系统吞吐率满足关系 $P_{Place1} < P_{Place3} < P_{Place2} < P_{Place5} < P_{Place4}$,即当 HLB 部署在 Place4 时表现出最好的性能,而部署在 Place1 时性能最差;(2)随着服务请求频率的增加,5 个不同地域位置的 HLB 的系统吞吐率均趋向于饱和(当服务请求频率 > 40 次/s,吞吐率增长速度急剧减小);(3)除了伙伴服务本身性能外,组合服务的组织构成方式和性能差异程度等因素也都会影响实例整体的性能。这可以通过比较 HLB 部署在 Place2 和 Place3 的情况得出:在 Place2 位置访问服务 $HsLA$ 比从 Place3 位置访问的性能表现更好;而对于其他伙伴服务情况正好相反,在 Place3 位置访问的性能表现更好,然而模型预测的结果是部署在 Place2 的 HLB 性能表现更好;(4)组合服务应用部署位置的差异会对其性能产生较大影响。

6.2.2 伙伴服务性能差异对性能的影响

图 5 主要关注伙伴服务性能变化对整个组合实例性能影响的评估。该图是以伙伴服务 $HsLA$ 和 $Bk3$ 的平均执行速率为自变量的 HLB 系统吞吐率三维曲面图,其中 x 轴为 $HsLA$ 的平均执行速率; y 轴为 $Bk3$ 的平均执行速率; z 轴为 HLB 的系统吞吐率。该三维曲面图揭示了以下结论:(1)HLB 的系统吞吐率随着伙伴服务 $HsLA$ 或者 $Bk3$ 的平均执行速率的提高而逐渐升高;伙伴服务性能的提高有利于提高组合系统的整体性能;(2)由于受限与其他伙伴服务的性能,随着个体服务 $HsLA$ 或者 $Bk3$ 的平均执行速率的不断提高,HLB 的系统吞吐率逐渐达到最大(其他某些伙伴服务成为实例系统的性能瓶颈);(3)不同性能的伙伴服务将会影响服务组合系统的整体性能;而选择一个更高性能的伙伴服务有利于构造更高性能的服务组合系统。

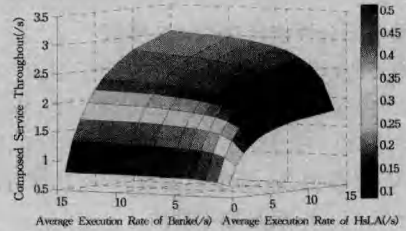


图 5 HLB 实例的吞吐率三维曲面(伙伴服务性能差异)

6.2.3 分支执行概率对性能的影响

本小节将预测和评估分支执行概率对实例系统性能的影响程度。假设已有房屋数量为 0 的客户占总客户的比率分别为 10%,40%,70%和 100%;且其他拥有 1 套、2 套和 2 套以上房的客户比率分别为 30%,20%,10%和 0%,如表 3 所列。于是,在客户随机访问的情况下,伙伴服务 $Bk0$ 所对应的分支的执行概率与已有房屋数量为 0 的客户比率保持一致。当已有房屋数量为 0 的客户比率为 10%时,设置模型参数为 $\lambda_5=10, \lambda_9=9, \lambda_{13}=30$ 和 $\lambda_{17}=30$ 。

表 3 实例模型中分支执行概率相关的参数设置

λ_5	参数名称		
	λ_9	λ_{13}	λ_{17}
10	30	30	30
40	20	20	20
70	10	10	10
100	0	0	0

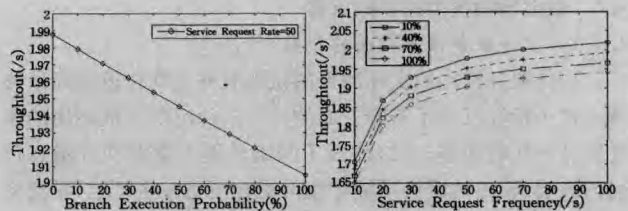


图 6 不同分支执行概率对 HLB 实例吞吐率的影响

图 6 反映了伙伴服务不同的分支执行概率对 HLB 实例性能的影响程度(当实例部署于 Place2)。从该图的实例性能曲线可以得出以下结论:(1)系统的性能水平随着 $Bk0$ 分支执行概率的升高而不断降低,如图 6(a)所示。原因在于,当组合服务部署在 Place2 且服务请求频率为 50 时, $Bk0$ 到 $Bk3$ 这 4 个伙伴服务中 $Bk0$ 的平均往返时间最长,即 $Bk0$ 性能表

现相对最差。在这种情况下, $Bk0$ 的执行概率升高, 使得实例整体性能下降。(2)在不同的服务请求频率下, $Bk0$ 的分支执行概率越高, 则对应的实例性能越低, 如图 6(b)所示, 满足关系 $\text{throughout}_{10\%} > \text{throughout}_{40\%} > \text{throughout}_{70\%} > \text{throughout}_{100\%}$ 。(3)不同的分支执行概率也会影响系统整体的性能表现: 提高性能较高的伙伴服务所对应的分支的执行概率, 将有利于提高系统整体的吞吐率。

6.3 服务组合性能优化

根据 6.2 节模型性能的预测和评估结果, 我们可以对服务组合实例的设计方案实行如下性能优化措施: (1)根据 6.2.1 节实例部署位置对性能的影响的预测结果, 组合服务应用部署位置的差异会对组合实例的性能产生较大影响, 而 WS-CP²M 模型预测将实例设计方案中的部署位置设置在 place4, 对组合实例性能的提升有很大的帮助。因此, 选择一个合适的组合服务部署位置, 是一种比较有效的组合服务性能优化方法。(2)根据 6.2.2 节伙伴服务性能差异对性能的影响的预测结果, 尽可能选择一个更高性能的伙伴服务, 将有利于构造相对更高性能的服务组合系统; 另一方面, 根据伙伴服务性能对于组合服务整体性能的影响程度, 可以查找出服务组合系统的性能瓶颈, 从而通过提升系统性能瓶颈处的伙伴服务的性能, 更为有效地优化组合服务系统的性能。(3)根据 6.2.3 节分支执行概率对性能的影响的预测结果, 我们知道: 为了优化服务组合系统的性能, 相比于提高其他分支所调用的伙伴服务性能通过提高较高执行概率分支所调用的伙伴服务性能来能够达到更好的性能优化效果, 即应该尽可能减小高执行概率分支的执行时间。通过统计实例执行信息, 确定关键执行分支(拥有较高的执行概率), 从而通过提高关键执行分支相关的伙伴服务性能, 有效地提高组合服务实例的性能表现。

结束语 为了预测在复杂多变的网络环境下的组合服务性能, 本文提出一种基于广义随机 Petri 网的 Web 服务组合性能预测模型 WS-CP²M。这种模型引入了网络环境因素和分支执行概率, 对服务交互行为、网络环境与分支执行概率之间的关系进行描述。本模型能够用于对服务组合实例(包括伙伴服务的选择、应用部署位置的选择等)进行定性和定量评估, 从而指导服务组合性能的优化。未来的工作将围绕着指导服务组合进行动态演化方面的研究展开。

参考文献

- [1] Zheng Zi-bin, Lyu M R. WS-DREAM: A Distributed Reliability Assessment Mechanism for Web Services[C]// Proceedings of the 38th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN2008). USA: IEEE Computer Society, 2008: 392-397
- [2] Marsan M A, Balbo G, Conte G, et al. Modelling with Generalized Stochastic Petri Nets[M]. Hoboken: John Wiley & Sons, 1995
- [3] Simmonds J, Gan Yuan, Chechik M, et al. Runtime Monitoring of Web Service Conversations[J]. IEEE Transactions on Service Computing, 2009, 2(3): 223-244
- [4] Salaun G, Bordeaux L, Schaefer M. Describing and Reasoning on Web Services Using Process Algebra[J]. International Journal of Business Process Integration and Management, 2006, 1(2): 116-128
- [5] van der Aalst W M P, Dumas M, Ouyang C, et al. Conformance Checking of Service Behavior[J]. ACM Transactions on Internet Technology (TOIT), 2008, 8(3): 1-30
- [6] Diaz G, Pardo J, Cambronero M, et al. Automatic Translation of WS-CDL Choreographies to Timed Automata[C]// Proceedings of the 2nd International Workshop on Web Services and Formal Methods (WS-FM'05). Springer, 2005: 230-242
- [7] Li Z, Jin Y, Han J. A Runtime Monitoring and Validation Framework for Web Service Interactions[C]// Proceedings of the 2006 Australian Software Engineering Conference (ASWEC'06). USA: IEEE Computer Society, 2006: 70-79
- [8] Ouyang C, Verbeek E, van der Aalst W, et al. Formal Semantics and Analysis of Control Flow in WS-BPEL[J]. Science of Computer Programming, 2007, 67(2/3): 162-198
- [9] Yang Y, Tan Q, Xiao Y. Verifying Web Services Composition Based on Hierarchical Colored Petri Nets[C]// Proceedings of the 1st International Workshop on Interoperability of Heterogeneous Information Systems (IHIS'05). USA: ACM Press, 2005: 47-54
- [10] Barbon F, Traverso P, Pistore M, et al. Run-time Monitoring of Instances and Classes of Web Service Compositions[C]// Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Web Services (ICWS'06). USA: IEEE Computer Society, 2006: 63-71
- [11] Tan W, Fan Y, Zhou M. A Petri Net-based Method for Compatibility Analysis and Composition of Web Services in Business Process Execution Language[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2009, 6(1): 94-106
- [12] Holanda H J A, Barroso G C, de Barros Serra A. SPEWS: a Framework for the Performance Analysis of Web Services Orchestrated with BPEL4WS[C]// Proceedings of the 4th International Conference on Internet and Web Applications and Services. USA: IEEE Computer Society, 2009: 363-369
- [13] Yang Huai-zhou, Li Zeng-zhi. Extended GSPN Modeling and Reduction Algorithms for Rapid Performance Analysis of Service Composition System[C]// Proceedings of the 2009 International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems. USA: IEEE Computer Society, 2009: 180-185
- [14] Zhu Jun, Kordon F. A Petri Net-based Runtime Monitoring Method for Web Services specified with BPEL[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Information Management and Engineering (ICIME'10). USA: IEEE Computer Society, 2010: 304-310
- [15] 廖军, 谭浩, 刘锦德. 基于 Pi 演算的 Web 服务组合的描述和验证[J]. 计算机学报, 2005, 28(4): 635-643
- [16] 范贵生, 虞慧群, 陈丽琼, 等. 基于 Petri 网的服务组合故障诊断与处理[J]. 软件学报, 2010, 21(2): 231-247
- [17] 门鹏, 段振华, 广义随机 Petri 网下的组合 Web 服务建模与评价[J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(8): 967-971