

基于随机 Petri 网的服务组合可协调性研究

张静乐¹ 杨 扬¹ 高 昂¹ 王元卓² 赵晓永¹

(北京科技大学信息工程学院 北京 100083)¹ (清华大学计算机系 北京 100084)²

摘 要 提出了一种基于随机 Petri 的服务组合间可协调性研究方法。首先,给出了服务以及服务系统的定义;然后,在服务以及服务组合可协调性定义的基础上给出了可协调行分析算法;最后,以一个电子物流系统为例,在随机 Petri 网建模的基础上给出了服务组合间的可协调性研究方法。

关键词 随机 Petri 网,服务组合,可协调性

Coordination Research for Service Composition Based on SPN

ZHANG Jing-le¹ YANG Yang¹ GAO Ang¹ WANG Yuan-zhuo² ZHAO Xiao-yong¹

(School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)¹

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)²

Abstract In this paper, we proposed a research way about coordination of service composition based on SPN. First of all, the definition of services and service composition of coordination was proposed. Then, analysis methods were given based on combination of services and service coordination definition. At last, taking e-commerce systems in the e-logistics system as an example, coordinate research methods of e-logistics system services were given.

Keywords SPN, Service composition, Coordination

1 引言

目前,SOA(Service Oriented Architecture)^[1]逐渐被引入到各行业的软件开发应用中。SOA 作为一种新的技术,在支持松耦合的分布式软件系统的开发以及支持动态的服务组合和服务重配置方面,为网络环境下的软件开发提供了新的解决方案。在大部分情况下,个体 Web 服务已经很难满足实际需求,Web 服务技术正通过 Web 服务组合来动态生成新的应用系统,以满足企业的动态需求,从而向大规模商业应用阶段快速发展。Web 服务组合已成为服务技术不断向前发展的技术动力和研究热点。Web 服务组合是将已存在的服务,按照一定的规则动态地发现,并组装成为一个增值的、更大粒度的服务或系统,以满足用户的复杂需求,并提高软件生产率的过程。

本文在分析了 Web 服务组合以及柔性工作流特性的基础上,提出了柔性工作流下的服务组合可协调性分析方法。

2 服务组合

2.1 Web 服务

2004 年初,W3C 组织在 Web 服务体系结构(Web Services Architecture, WSA)^[3]中对 Web 服务的定义如下^[4]:“一个 Web 服务是一个通过 URI 标志的软件系统,被设计来支持网络上机器之间的可互操作的交互,其公共接口用 XML 文档定义,该定义供其他软件系统使用,这些系统可使用基于 XML 的消息机制,通过 Internet 的传输协议与此 Web 服务进行交互,具有完全开放、松散耦合、标准协议规范和高度可

集成能力等特征”。

2.2 服务组合

本节中将研究一种适用于描述服务需求的服务组合模型方法。在本文研究的模型中,依照用户对任务的需求,网格服务可以由简单服务和复杂服务组成。其中,简单服务可以描述一种专门的功能,而多个简单服务组合在一起则构成了一个复杂服务,每一个简单服务都是这个复杂服务的一部分。

定义 1(服务) 一个服务可以表示为一个四元组 $S = (SerID; TaskDe; ResDe; serC)$,其中, $SerID$ 表示该服务的名字,用来区分不同的服务; $TaskDe$ 描述该服务的服务质量,常用预期时间(deadline)、预算花费(budget)等表示; $ResDe = (NodeID, URL, P, T)$ 为该服务需要的资源,其中, $NodeID$ 是资源名称, URL 为所需资源的逻辑关系, P 表示资源的性能参数, T 表示资源被利用时间; $serC$ 表示服务的可承受成本总量。

注:一个服务,对于服务提供者, $serC$ 表示给服务的定价,而对于服务请求者, $serC$ 则表示该服务请求者接受该服务的期望收益(或服务的价格)。

定义 2(服务系统) 一个服务系统可以表示为一个三元数组 $SerS = (serRes, serRel, SerCo)$,其中, $serRes$ 表示该系统的资源集合; $serRel$ 表示资源集合中的相互关系; $SerCo$ 表示该系统正常运行的成本。

3 服务组合可协调性

网络应用环境下有大量的类似的、可以完成同样服务的资源。根据用户提交的任务以及具体的服务质量(QoS)的需

到稿日期:2009-12-08 返修日期:2010-03-16 本文受国家自然科学基金(No. 60673192, No. 60803123)资助。

张静乐 博士生,主要研究方向为网格、工作流、协同设计, E-mail: wangyuanzhuo@tsinghua.edu.cn; 杨 扬 教授,博士生导师,主要研究方向为计算机网络和图像处理。

求,系统会选择合适的资源,并通过将这些资源提供的服务进行组合来完成一个实际的应用。

组合服务的目标是协调基本服务间的互操作,使得组合服务能够以最优的方式运行,因此,服务间的直辖市关系成为了保证服务组合质量的一个重要性能指标,使得基本服务间具有较好的互操作性,从而使得系统能够快速、正确地执行。

3.1 服务可协调性

定义 3(可协调性) 协调是系统控制的关键问题。所谓协调问题,就是如何使各个子系统或子服务相互配合、协调工作,共同完成系统的总任务^[5]。

考虑某控制系统,它具有一定的结构关系,其各组成部分具有各自的资源和能处理的任务类别,如若系统的组成元素集合为 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$,若该系统可以提供的服务集合为 $\{S_1, S_2, \dots, S_m\}$;对于一个服务,若该系统无法按该服务的 QoS 要求完成该服务,则称该服务为不可完成;若对于某个组合服务,该系统无法按 QoS 要求完成,则称该服务不可完成。

定义 Q(S)为服务 S 的 QoS 要求,其中 S 为系统可提供的服务, $S = \alpha R + \beta J$,其中 R 表示系统资源, J 表示系统任务, α 和 β 表示资源和任务的加权值。

$$Q(S) = Q(\alpha R + \beta J) = \alpha Q(R) + \beta Q(J) \quad (1)$$

根据具体的业务, $Q(R)$ 和 $Q(J)$ 分别表示服务对资源和任务的要求。下面本文给出对服务协调的定义和简要介绍。

服务协调:指以“完成系统总体 QoS 为目的,以服务能力为手段”进行协调,即在系统总体服务能力的约束下

$$\sum_{i=1}^n S_i \leq \bar{S} \quad (2)$$

式中, \bar{S} 为系统的总服务能力; S_i 为第 i 个子系统提供的服务能力。

以“机动服务”为协调手段

$$\delta \bar{S} = \bar{S} - \sum_{i=1}^n \bar{S}_i \quad (3)$$

式中, $\delta \bar{S}$ 为机动服务; \bar{S}_i 为第 i 个子系统提供的局部服务; $\sum_{i=1}^n \bar{S}_i$ 全部 n 个子系统提供的为服务。

$$\delta \bar{S} = \delta (\alpha R + \beta J) \quad (4)$$

在式(4)中,通过调节服务的资源和任务可以达到机动服务调节的目的。

使各个子系统($i=1, 2, \dots, j, \dots, n$)的局部控制过程相互协调,共同完成或超额完成系统全局的总体 QoS 要求。

$$\sum_{i=1}^n Q(S_i) \geq \overline{Q(S)} \quad (5)$$

式中, $\overline{Q(S)}$ 为系统的 QoS 要求; $Q(S_i)$ 为第 i 个子系统的 QoS 要求; $\sum_{i=1}^n Q(S_i)$ 为全部 n 个系统的 QoS 要求。

当服务能力协调偏差的总和为零时:

$$\Delta S = \sum_{i=1}^n \Delta S_i = 0 \quad (6)$$

式中, ΔS 为服务能力协调偏差总和; $\Delta S_i = (\bar{S}_i - S_i)$ 第 i 个服务协调偏差; \bar{S}_i 为第 i 个子系统提供的局部服务。

可提供的总服务:

$$\sum_{i=1}^n S_i = S = \bar{S} = \sum_{i=1}^n \bar{S}_i \quad (7)$$

定义 4(服务可协调性) 在系统总体 QoS 要求约束条件下,若以机动服务为协调手段,对各个子系统提供的服务能力进行协调控制,可以完成或超额完成系统总体 QoS 要求,则称大系统是服务可协调的。

3.2 服务可协调性分析算法

由以上介绍的服务可协调的定义,本文可以得出如下的服务可协调性分析算法,该算法的具体描述如下:

算法 1 CDA 算法

输入:系统 QoS 要求

输出:是否可协调

步骤:

- (1)初始化系统总的任务和资源;
- (2)获取系统各服务组合可协调性处理模型;
- (3)初始化系统机动服务;
- (4)初始化系统内每个子模型的任务和资源;
- (5)遍历每个子处理模型;
- (6)初始化各子处理模型内服务节点的任务和资源;
- (7)初始化子处理模型内的机动服务;
- (8)通过调整机动服务动态分配每个服务节点的服务能力;
- (9)由式(3)计算系统服务协调偏差,并根据协调偏差判断组合服务是否可协调;
- (10)是否遍历完所有模型,是,转下一步,否,转(6);
- (11)选出每个子模型可协调性最好的服务组合方式,并将该结果反馈给系统。

4 ELMS 采购流程模型建模

ELMS(E-Business Logistics Management System)是一种新型的电子商务模式。这种模式使得物流系统中的供应商与门店之间不再建立直接连接,而是通过 ELMS 提供的网络服务来实现物流配送系统的各种需求。在这种新型的模式中,ELMS 提供了一种服务平台,这个平台将为各个服务供应商以及门店用户提供信息流、资金流、物流等各种保障,以确保整个物流系统安全、高效的运行。供应商将能够提供的各种服务发布到 ELMS 系统中进行统一的管理,而门店用户不再向单个具体的供应商请求服务,而是通过 ELMS 系统获取完整的物流配送服务,ELMS 对系统中的资源和任务进行统一的管理以确保门店用户的服务请求与供应商的服务请求都能获取最优的服务保障。

ELMS 提供了全新高效的采购策略,其基本的采购流程为,供应商根据各自的业务范围给企业提供商品供应服务,在企业的采购服务请求范围内,一种商品可以对应多个供应商。当网上客户下订单服务请求后,运营企业根据用户的订货时间和订货数据以及自己当前的库存等等 QoS 要求进行分析整理,如果当前库存无法满足用户的订货数量或者当前库存已经到达最小库存则需要提出补货服务请求,根据需要补货的商品选择供应商进行补货。具体的订单采购流程如图 1 所示。

图 1 是订单采购的具体业务流程,从图中可看出,每个订单在提交后都会经过一个分类和汇总的过程,然后进入相应的订单处理流程,系统根据当前服务请求的内容和其 QoS 要求,在系统范围内选择合适的服务提供方,同时服务提供方以协同组合的方式提供其服务,如何选取组合服务的方式使得系统以最优的资源和任务分配方式完成用户提交的服务请求是该系统所要完成的最主要的任务,为了达到以上的目的,ELMS 系统的采购算法对所有组合服务的可协调性进行了分析,通过分析可以提前对其服务执行情况进行模拟并确定其是否可以以最优的方式来完成服务请求,然后通过变换服务提供者的方式完成服务的自动组合以寻找到合适的服务提供者。

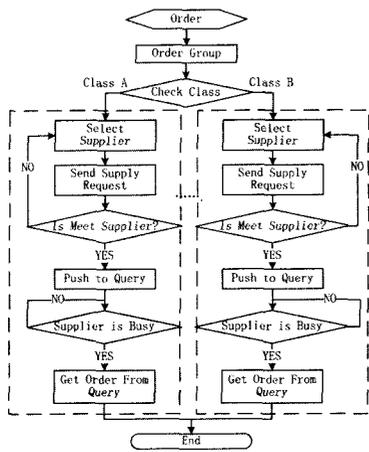


图1 采购流程图

对于上文所述采购流程,一批订单通过调度算法被系统分配给相应的供应商之后,某个订单将被直接放入与其匹配的供应商的服务请求队列中,由于系统中有多个供应商,每个供应商都可以为订单提供商品,而且每个供应商都有多个订单请求队列,每个队列对应一种订单请求,也即对应一种订单类别,故此对于上述系统,全体供应商能供应订单的能力为系统能提供的总体资源 \bar{R} ,每个供应商供应订单的能力为局部资源 R_i ,而全部的订单为系统的总体任务 \bar{J} ,每个订单为局部任务 J_i 。

4.1 采购流程 SPN 模型

根据订单采购的具体业务流程和上节中所述单个供应商的选择处理模型,将供应商看作服务器资源,订单看作任务,本文可以构造如下 SPN 模型,建模之后的模型图如图 2 所示。

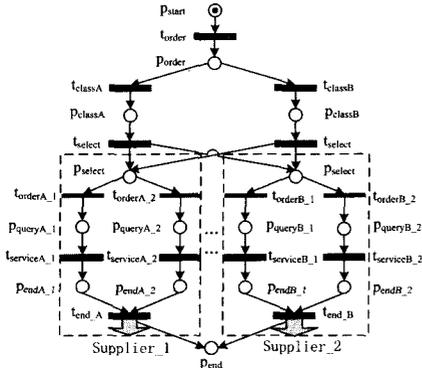


图2 ELMS 采购流程 SPN 模型图

图 2 中, t_{order} 和 P_{order} 表示订单的提交, t_{classA} 和 t_{classB} 表示订单被分类之后进入相应的订单类别处理流程, t_{select} 表示供应商选择,图中虚线所圈起来的两个部分分别是供应商_1(Supplier_1)和供应商_2(Supplier_2)的选择处理模型, t_{end_A} 和 t_{end_B} 分别表示处理结束。

5 ELMS 采购流程性能分析

从上节图 2 可以看出,订单列表在提交之后先由系统经过甄别,然后再分给不同的供应商,每个供应商再将订单列表交给不同的服务队列并行处理,其中选择供应商和供应商并行处理订单可分别对应前文提出的选择结构服务组合处理模型和并联结构服务组合处理模型,那么通过在系统中加入协调器之后可以对这两种结构的协同服务模型进行可协调性判断,从而分析系统可协调性。

完成随机 Petri 网对系统的可用性建模之后,便可根据可达图获得与 SPN 模型同构的 MC。假设 MC(Markov chain,

简称 MC)中 n 个状态的稳定状态概率是一个行向量 $\Pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$,且每个变迁的延时服从于指数分布函数。根据马尔可夫过程有下列线性方程组

$$\begin{cases} \Pi \times Q = 0 \\ \sum_{i=0}^n \pi_i = 1 \end{cases} \quad (8)$$

解此线性方程组,即可得每个可达标识的稳定概率 $P_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

另一方面,对任一标识 $M_i \in [M_0]$,所有 $M_j, M_k \in [M_0]$ 且 $M_i \in [t_k > M_j, M_k \in [t_k > M_i]$,则有方程

$$\left(\sum_j \lambda_j \right) \pi_i = \sum_k \lambda_k \pi_k \quad (9)$$

显然,可用上式列出 $n-1$ 个平衡状态方程,再加上方程 $\sum \lambda_j = 1$,即可求解每个可达标识的稳定概率。基于上述马尔可夫链和状态转换速率,能够制造状态转换矩阵并获得所有状态的稳定状态概率,在求得稳定概率的基础上,便可以进一步分析人们关心的稳定状态的性能参数。

下面以上节介绍的采购流程为例介绍,系统的服务质量定义为:订单平均花费、失效订单数以及可靠性。

订单平均花费:一段时间内所有订单花费的平均值,由于提供服务的供应商报价的不同以及失效订单的存在使得订单平均花费随订单流入速率的不同而发生变化。

$$P(x) = \frac{-\sum_{i=1}^n P(O_i)}{n} \quad (10)$$

失效订单数:统计一段时间内由于没有达到服务请求方所要求的 QoS 要求而被系统拒绝的订单数量。

可靠性:求解可靠性时,可以假设系统有 n 个状态,前 t 个连续的正常工作状态是非吸收态,后 a 个状态为吸收态(故障态)。这样只需考虑系统处于吸收状态时的可靠性,即:

$$R(t) = P_0(t) = \exp(-\lambda t) = \exp(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t) \quad (11)$$

5.1 结果分析

下面以上节介绍的订单平均花费、失效订单数、可靠性为例,对比加入 CDA 算法之后处理模型在订单流入速率逐渐增加情况下二者的可用度和平均不可用时间,图 3—图 5 中 Simple 为简单模型,CDA 为服务可协调性判定处理模型。

图 3 是订单平均花费对比图,图中横坐标为订单处理数量,纵坐标为订单平均花费。

图 4 为失效订单对比图,图中横坐标为订单处理数量,纵坐标为失效订单数量。

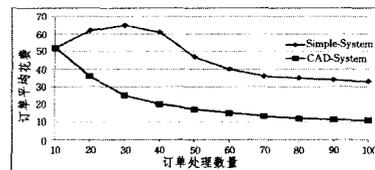


图3 订单平均花费对比图

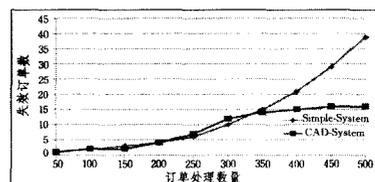


图4 失效订单对比图

表1 算法运行时间比较

结点数	结合局部机制的GA	经典GA	启发式算法
8	3Sec	2Sec	1Sec
16	3Sec	3Sec	5Sec
32	3Sec	3Sec	50Sec
64	60 Sec	75Sec	300 Sec
256	300 Sec	635Sec	—

综上所述,无论是考虑视图维护代价还是考虑查询响应时间,本文提出的算法都优于启发式算法和经典遗传算法。

结束语 针对实视图选择问题是数据仓库中一个非常重要的问题,本文着重论述了如何选择合适的数据库立方体进行实化,以便使总的查询响应时间及视图维护代价最小。并提出了一个结合启发式和局部搜索机制的增强视图选择遗传算法。实验结果表明,本文提出的算法在寻优性能上优于启发式算法和经典遗传算法。

参考文献

[1] Codd E F, et al. Providing OLAP (on-line analytical processing) to user-analysts; an IT mandate[R]. IBM Research Lab, 1993

[2] Harinarayan V, Rajaraman A, Ullman J D. Implementing data cubes efficiently [C]//Proc. 1996 ACM Int. Conf. Management of Data. June 1996;205-216

[3] Zhang C, Yang J. Genetic algorithm for materialized view selection in data warehouse environments[C]//Mohania M K, Tjoa A M, eds. Proc. of the 8th Int'l Conf. on Data Warehousing and Knowledge Discovery (DaWaK'99). Florence; Springer-Verlag, 1999;116-125

[4] Lawrence M. Multiobjective genetic algorithms for materialized view selection in OLAP data warehouses[C]//Cattolico M, eds. Proc. of the 2006 Genetic and Evolutionary Computation Conf. (GECCO 2006). Seattle; ACM Press, 2006;699-706

[5] Horng J T, Chang Y J, Liu B J. Applying evolutionary algorithms to materialized view selection in a data warehouse[J]. Soft Computing-A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications, 2003, 7(8): 574-581

[6] Yu J X, Yao X, Choi C H, et al. Materialized view selection as constraint evolutionary optimization[J]. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics-Part C, 2003, 33(4): 485-467

[7] Zhang C, Yao X, Yang J. An evolutionary approach to materialized view selection in a data warehouse environment[J]. IEEE

Trans. on Systems, Man and Cybernetics-Part C, 2001, 31(3): 282-293

[8] Lee M, Hammer J. Speeding up materialized view selection in data warehouses using a randomized algorithm[J]. Int'l Journal of Cooperative Information Systems, 2001, 10(3): 327-353

[9] Wang Z Q, Zhang D X. Optimal genetic view selection algorithm under space constraint[J]. Int'l Journal of Information Technology, 2005, 11(5): 44-51

[10] Lin W Y, Kuo I C. A genetic selection algorithm for OLAP data cubes[J]. Knowledge and Information Systems, 2004, 6(1): 83-102

[11] Gupta H, Harinarayan V, Rajaraman A, et al. Index Selection for OLAP[C]//Proc. ICDE, 1997;208-219

[12] Baralis E, Paraboschi S, Teniente E. Materialized view selection in a multidimensional database[C]//Proc. of the 23th VLDB Conference. 1997;156-165

[13] Shukla A, Deshpande P M, Naughton J F. Materialized view selection for multidimensional datasets [C] // Proc. of the 24th VLDB Conference. 1998;488-499

[14] Gupta H. Selection of Views to Materialize in a Data Warehouse [C] // Proceedings of the 23th VLDB Conference. Athens, Greece, 1997;156-165

[15] Gupta H, Mumick L S. Selection of Views Maintenance Cost Constraint [C]//Proc. of the 7th Intl. Conf. on Database Theory. 1999;453-470

[16] Valluri S R, Vadapalli S, Karlapalem K. View relevance driven materialized view selection in data warehousing environment [J]. Australian Computer Science Communications, 2002, 24(2): 187-196

[17] Yang Jian, Karlapalem K, Li Qing. Algorithm for Materialized View Design in Data Warehousing Environment [C]//VLDB'97, 1997;20-40

[18] Indulska M. Shared Result Identification for Materialized View Selection [C] // Proceedings of the 11th Database Conference (ADC). 2000

[19] Horng J T, Chang Y J, Liu B J, et al. Materialized view selection using genetic algorithms in a data warehouse[C]//Proceedings of World Congress on Evolutionary Computation, Washington, DC, July 1999;2221-2227

[20] Lin W Y, Kuo I C. OLAP data cubes configuration with genetic algorithms[C]//IEEE. 2000;1984-1989

(上接第147页)

图5为系统可靠性对比图,图中横坐标为订单流入速度,纵坐标为系统可靠性。

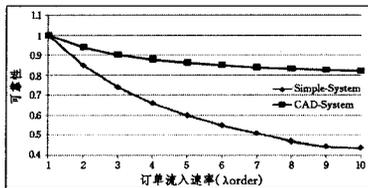


图5 可靠性对比图

结束语 本文简要介绍了柔性工作流程中组合服务的可协调定义及判定方法,并根据可协调定义及判定方法,可以对系统流程进行组合服务的可协调性的定义以及分析,基于组合服务可协调性的定义以及分析方法可以事先对系统中组合服务间的协同合作关系进行分析预测,本文下一步研究的重点

是根据该分析可以对组合服务间的协同程度进行评估,然后根据评估结果可以对服务之间的组合进行优化重组,并以此提高系统提供可靠服务的能力,通过可协调性判断的反馈结果给出服务自动组合的方法。

参考文献

[1] Andrew S. Tanenbaum, Computer Networks(3 Editions)[M]. ISBN 7-302-02410-3/TP0. 212

[2] Kumara A, Wainer J. Meta workflows as a control and coordination mechanism for exception handling in workflow systems [J]. Decision Support Systems, 2005, 40(1): 89-105

[3] Bush S F, Kulkarni A B. Book; Active Networks and Active Network Management[M]. e-ISBN: 0-306-46981-2

[4] Aura T. Cryptographically Generated Addresses(CGA)

[5] 涂序彦. 大系统控制论 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, ISBN 756351096